Le laser qui révéle les secrets du sol français p. 68

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

© ESA/HUBBLE
E. MARONI/SIPA/PHOTOMONTAGE SEVA

DÉCOUVERTE D'UN CONTINENT ENGLOUTI

Icelandia réécrit l'histoire de la Terre

p. 48

VOIR L'INFINI

avec le nouveau télescope du siècle p. 30

DES MINI CERVEAUX

créés en labo p. 64

DÉCEMBRE 2021 - N° 898 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5.70 € / LUXEMBOURG 5.70 € / GRÈCE 5.70 € / BELGIQUE 5.70 € / ESPAGNE 5.70 € / DOM 5.90 € / DOM-AVION 7.90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5.70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

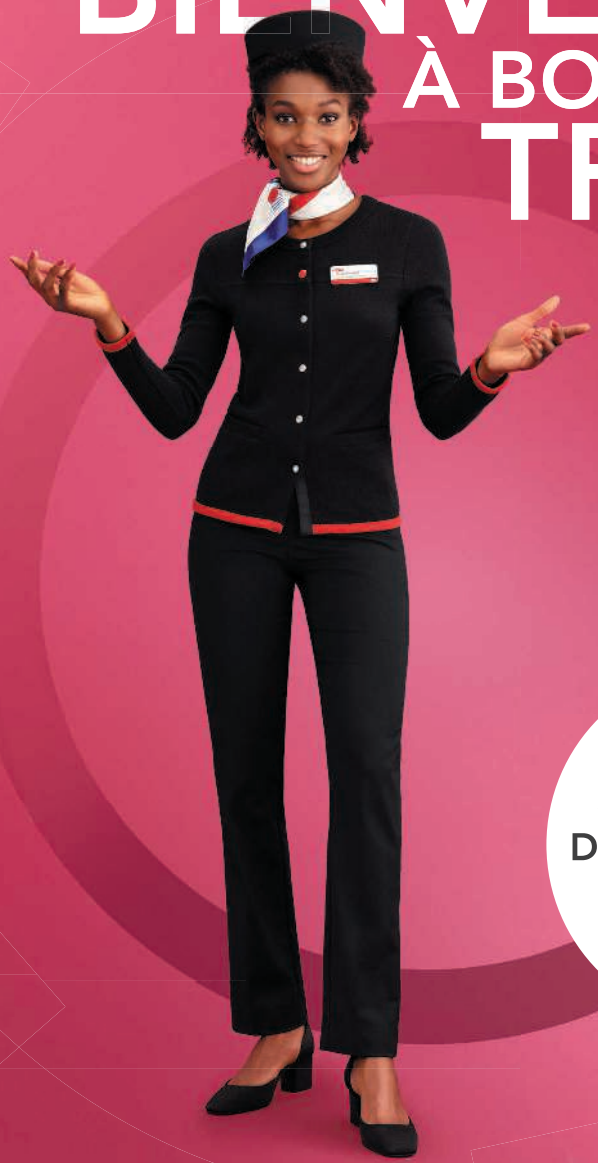
L 13418 - 898 - F: 5,30 € - RD

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 898 - DÉCEMBRE 2021 - DÉCOUVERTE D'UN CONTINENT ENGLOUTI

TGV INOUI

VOYAGEZ AVEC VOTRE TEMPS

CHOYEZ LES BIENVENUS À BORD DE NOS TRAINS.



PLUS DE 8000 AGENTS DÉDIÉS À VOTRE BIEN-ÊTRE ET SÉCURITÉ*

RENDEZ-VOUS SUR OUI.SNCF, EN GARES, BOUTIQUES, AGENCES DE VOYAGES AGRÉÉES SNCF ET PAR TÉLÉPHONE.

*Une équipe à votre écoute du début à la fin de votre voyage (en gares et boutiques, à quai et dans les trains) ainsi que des services exclusifs pour continuer votre voyage (Ma Location AVIS, Mes Bagages…). Offre valable uniquement sur les trains éligibles TGV INOUI. TGV INOUI est une marque enregistrée de SNCF Voyageurs. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584 – 9, rue Jean-Philippe Rameau – 93200 Saint-Denis Cedex. ROSA PARIS

SNCF

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

Gare aux amis virtuels

Quiconque a entendu les marins de la transat Jacques-Vabre évoquer ces jours-ci leur bateau aura senti à quel point ils ou elles finissaient par faire corps avec lui. Ce dernier se muant peu ou prou en une personne sur laquelle on peut vraiment compter ou pas. Imaginons le jour où, doté d'une intelligence artificielle douée de langage naturel, le bateau leur parle, les avertissant d'une faiblesse de son mât, pronostiquant la force de la houle ou la formation d'un ouragan. Rien de tel pour définitivement anthropomorphiser l'engin.

Des robots qui discutent. Qui d'entre nous, d'ailleurs, ne s'est pas retrouvé un jour à sermonner sa propre voiture quand, par un froid matin d'hiver, elle refusait de démarrer ? Comment allons-nous nous comporter à l'avenir, suite à des échanges de plus en plus fréquents avec les agents conversationnels — ces « chatbots » ou robots qui discutent — répondant à nos questions et donnant des conseils ? Déjà une réalité pour qui converse avec Siri sur son iPhone ou avec Alexa d'Amazon, appelé avec Disney à se déployer un peu partout.

Manipulation douce. Que se passera-t-il demain avec le développement du métavers annoncé récemment par Mark Zuckerberg *(lire p. 42)* ? Dans cet univers virtuel, où tout un chacun est censé vivre *via* son avatar en 3D parmi d'autres avatars amis, comment détecter les pseudo-personnages… Des robots si persuasifs qu'on les prendrait pour des anges gardiens. À l'heure où la Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle (2018-2022) entre dans sa deuxième phase, ce n'est pas un hasard si un avis sur les enjeux éthiques des *chatbots* vient d'être émis par le Comité national pilote d'éthique du numérique (CNPEN). Les agents conversationnels sont en effet des intermédiaires puissants du système numérique pour que ce dernier engrange pléthore de données sur nos réactions émotionnelles et notre comportement général. Un apprentissage qui, en retour, peut permettre d'exercer insidieusement une « manipulation douce », explique ainsi Laurence Devillers, corapporteuse de l'avis du CNPEN, professeure d'IA et d'éthique (université Paris-Sorbonne, CNRS) que les lecteurs de *Sciences et Avenir–La Recherche* connaissent bien.

Brouillage et mensonges. Il est grand temps que des normes encadrent la déferlante annoncée de *chatbots*, pour éviter le brouillage entre humain et non-humain. Voire une perte de repères entre la vie et la mort, quand il devient possible de poursuivre le dialogue avec une personne décédée grâce à un « deadbot » qui en garde la voix et l'apparence. Que deviendrait le temps du deuil, indéfiniment prolongé ? Une éducation s'impose ainsi dès le plus jeune âge, pour faire prendre pleinement conscience de cette nouvelle réalité. Pour éviter non seulement que s'aggrave l'addiction aux images ou à la consommation de produits mais aussi que s'infiltrent mensonges et *fake news*, à l'insu de notre plein gré. Un défi à la démocratie. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Le dernier soupir d'une étoile »
(Sciences et Avenir - La Recherche n° 895, septembre 2021)

Ordre de grandeur

Dans l'article « Le dernier soupir d'une étoile », vous écrivez : *« 14 millions de fois plus d'énergie que toutes les étoiles de la Voie lactée, c'est la puissance libérée en moins d'une seconde par un sursaut de rayons gamma… »* Je suppose qu'il s'agit de l'énergie rayonnée par les étoiles (par an, par jour ?) alors que pour le sursaut gamma il s'agit de l'énergie libérée par la fusion due à l'effondrement de l'étoile ? Cette énergie-là étant potentiellement présente dans toutes les étoiles encore « en vie » ?

Marc Bories

S. et A. : Afin d'illustrer l'extraordinaire puissance de ce sursaut gamma, Tomás Ahumada, de l'université du Maryland (États-Unis), explique sur le site de la Nasa : *« Le sursaut a émis 14 millions de fois plus d'énergie que la Voie lactée tout entière en moins d'une seconde. »* On notera d'abord que Tomás Ahumada prend soin de préciser qu'il s'agit bien d'énergie par seconde, ce qui correspond à une puissance, comme mentionné dans la brève. Concernant la demande de précisions : oui, il s'agit bien de l'énergie de toutes les étoiles de la Voie lactée. En mesurant l'énergie rayonnée libérée par le sursaut gamma, les chercheurs ont constaté que c'est 14 millions de fois plus que ce que libèrent toutes les étoiles de la galaxie dans le même temps. Il est bien évidemment question d'une moyenne de l'énergie rayonnée par les étoiles (essentiellement dans le domaine visible pour le Soleil), ce qui est forcément approximatif. Les étoiles n'émettent pas toutes la même quantité d'énergie, cela dépend de leur type. Par ailleurs, il n'y a pas de consensus non plus sur le nombre exact d'étoiles dans la Voie lactée. Ce chiffre est un ordre de grandeur et il faut le prendre comme tel.

Hêtre pourpre

Dans la rubrique « Questions de lecteurs » (S. et A. n° 895), à la question « Pourquoi les feuilles sont vertes ? », vous nous avez expliqué le rôle de la chlorophylle mais *quid* du hêtre pourpre et pourquoi ses feuilles redeviennent-elles vertes avant de mourir ?

Bernard Weber

S. et A. : Si la majorité des feuilles affichent en effet des couleurs vertes dues à la chlorophylle, chez certaines espèces, elles peuvent arborer d'autres teintes. Cela est lié au fait que dans leurs feuilles, la chlorophylle n'est pas le pigment dominant. D'autres comme les anthocyanes ou les caroténoïdes peuvent être majoritaires, et dans ce cas leurs teintes domineront. Ainsi pour le hêtre rouge, ce sont les anthocyanes qui leur donnent leur couleur (ces pigments sont notamment présents dans les fruits rouges). Quant au verdissement de ces feuilles à l'automne, il peut être attribué à la dégradation des pigments qui dominent et laissent brièvement apparaître la chlorophylle.

Précision

Orion. Dans l'article « Une planète en orbite autour de trois étoiles » (S. et A., n° 897), la constellation d'Orion n'est pas située à 1300 milliards d'années-lumière, mais à 1300 années-lumière.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Révolutions annoncées

Il est rare d'entendre le mot « révolution » dans la bouche des scientifiques tant leur prudence est légendaire. Mais la situation n'a rien d'ordinaire. Le 18 décembre, Ariane 5 doit décoller avec le plus gros et le plus puissant télescope jamais envoyé dans l'espace. Sa conception a débuté en… 1989, avant même le lancement du mythique Hubble ! Sa mise au point s'est révélée particulièrement délicate et étant donné qu'il sera positionné à 1,5 million de kilomètres de la Terre, tout problème ruinerait cette mission à 10 milliards de dollars. Cette interdiction de l'échec explique en grande partie les treize ans de retard sur la première date annoncée pour le lancement. La pression est énorme, tout comme le sont les promesses.
Car les scientifiques le savent, en regardant dans cet infrarouge invisible à nos yeux, ils verront ce qu'ils n'ont encore jamais vu. La lumière émise par les premiers astres qui ont peuplé l'Univers, la nature de l'atmosphère des exoplanètes, des systèmes solaires en formation ou encore les confins du nôtre. Si aujourd'hui le sigle JWST (pour James Webb Space Telescope) est mystérieux même pour les passionnés de sciences, sa célébrité est assurée. Car il sera associé à toutes les prochaines découvertes qui changeront notre vision de l'Univers. C'est pourquoi nous avons consacré un dossier à *« cette machine révolutionnaire »* qui sera le héros d'une *« prodigieuse aventure scientifique »*, comme nous l'explique l'astrophysicien Pierre-Olivier Lagrange qui supervise l'un de ses appareils de détection *(p. 30)*. L'aventure d'une vie. Mais ce n'est pas la seule révolution annoncée dans *Sciences et Avenir-La Recherche*. La découverte de continents jusqu'ici inconnus *(p. 48)* nous oblige à repenser ce que l'on croyait figé dans les manuels scolaires des sciences de la vie et de la Terre : la tectonique des plaques. Car oui, notre Terre reste par bien des aspects aussi mal comprise que les confins de l'Univers. Plus que jamais, préparez-vous à revisiter vos classiques ! ■ @mathieu_nowak

> « La découverte de continents jusqu'ici inconnus nous oblige à repenser ce que l'on croyait figé dans les manuels scolaires de SVT : la tectonique des plaques »

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44 - Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, Claire MATHIEU
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Nicolas GUTIERREZ C., Pierre KALDY, Anouk TOMAS
Secrétaire de rédaction
Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 01.55.35.56.00

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,014 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte les encarts « Sophia Boutique-barre de son » et « les restos du cœur» jetés sur couverture sur la totalité de la diffusion abonnés.. Commission paritaire n° 0625 K 79712.
ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Il y a mieux que faire surveiller votre maison par la voisine

orange™

Maison Protégée
Alarme et Télésurveillance

19 €99 /mois*

pendant 12 mois, puis 24,99 €/mois pour un appartement. Engagement 12 mois.

- **Matériel inclus, sans frais d'installation(1)**
- **Centre de télésurveillance 24/24**
- **Application mobile pour piloter à distance votre alarme(2)**

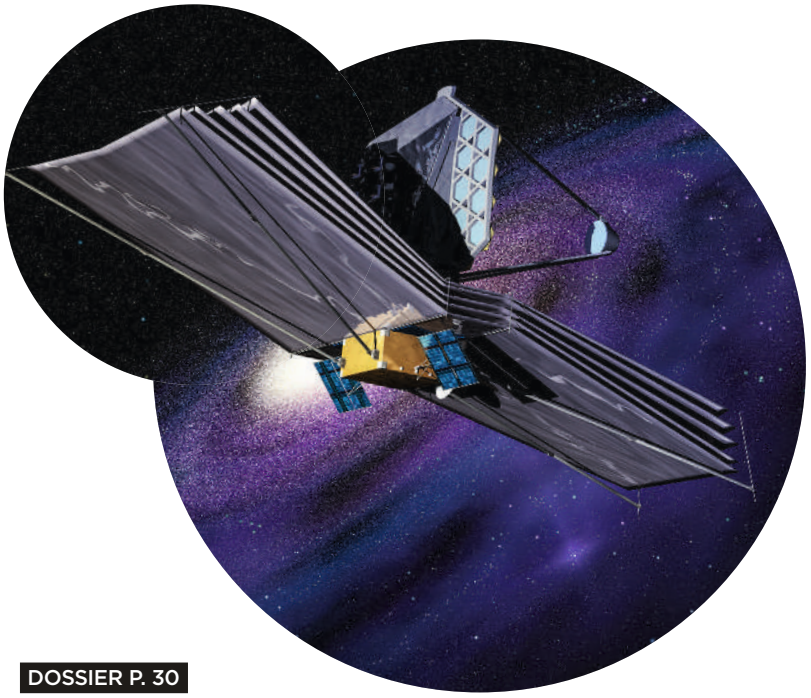
0 800 00 86 36 Service & appel gratuits

Offre soumise à conditions réservée aux abonnés particuliers Orange/Sosh (mobile ou internet) pour les logements en France métropolitaine d'une surface jusqu'à 300 m² et dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100 000 €. Frais de résiliation de 50 €. Conditions sur telesurveillance.orange.fr

*Tarif pour une maison : 29,99 €/mois pendant 12 mois puis 34,99 €/mois. Promotion valable pour toute 1re souscription (même titulaire, même adresse) du 07/10/2021 au 05/01/2022. **(1)** Le technicien détermine l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur. Matériel inclus hors options complémentaires payantes. **(2)** Téléchargement et service gratuits hors coût de connexion variable selon l'offre détenue. En cas de résiliation avant la fin de la période initiale d'engagement, les mensualités d'abonnement restantes excluant les remises éventuelles sont dues, sauf en cas de résiliation pour motif légitime. Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33 610 000 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 898 / Décembre 2021



DOSSIER P. 30

Le télescope de tous les défis

Le plus puissant engin d'observation jamais envoyé dans l'espace, le télescope spatial James-Webb, devrait être lancé le 18 décembre depuis Kourou, en Guyane. Décryptage de ce programme hors norme qui aura nécessité 30 ans de développement.

P. 42

Métavers : le fantasme d'un monde virtuel

Géants de la tech ou entreprises de jeux vidéo investissent dans le développement d'un futur univers numérique parallèle au monde physique, accessible par Internet.

P. 48

Icelandia réécrit l'histoire de la Terre

Ce continent englouti, dont l'Islande serait la partie émergée, est l'un des morceaux de la Pangée, supercontinent unique qui existait il y a 240 millions d'années.

P. 64

Organoïdes : des cerveaux en laboratoire

Des chercheurs américains ont enregistré pour la première fois une activité électrique émise par des cultures cellulaires reproduisant en miniature un morceau de tissu cérébral.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** Une mission inédite pour dévier un astéroïde / Les quasi-cristaux vont sortir de l'oubli

30 **Le télescope de tous les défis**

42 **Métavers : le fantasme d'un monde virtuel parallèle**

46 **Entretien avec Carlo Rovelli,** physicien théoricien et philosophe des sciences

NATURE

14 **ACTUALITÉS** Les mégafeux nourrissent le plancton / Les canetons surfent sur les vagues de leur mère

48 **Continent englouti : Icelandia réécrit l'histoire de la Terre**

56 **Pourquoi nos forêts de sapins disparaissent**

SANTÉ

20 **ACTUALITÉS** Un rein de cochon greffé chez l'humain / Le système immunitaire est plutôt du matin

64 **Organoïdes : les cerveaux de laboratoire s'éveillent**

70 **L'hyperactivité des adultes enfin reconnue**

74 **Nutrition : la banane, un régime gourmand et énergétique**

HISTOIRE

26 **ACTUALITÉS** L'origine des chevaux domestiques établie / Un fantôme hante cette tablette

78 **Patrimoine : le laser va révéler les secrets du sol français**

82 **Vase d'Autun : sur la piste des premiers chrétiens**

TRANSVERSALES

88 **Sélection livres**

92 **Expositions**

93 **Le ciel de décembre**

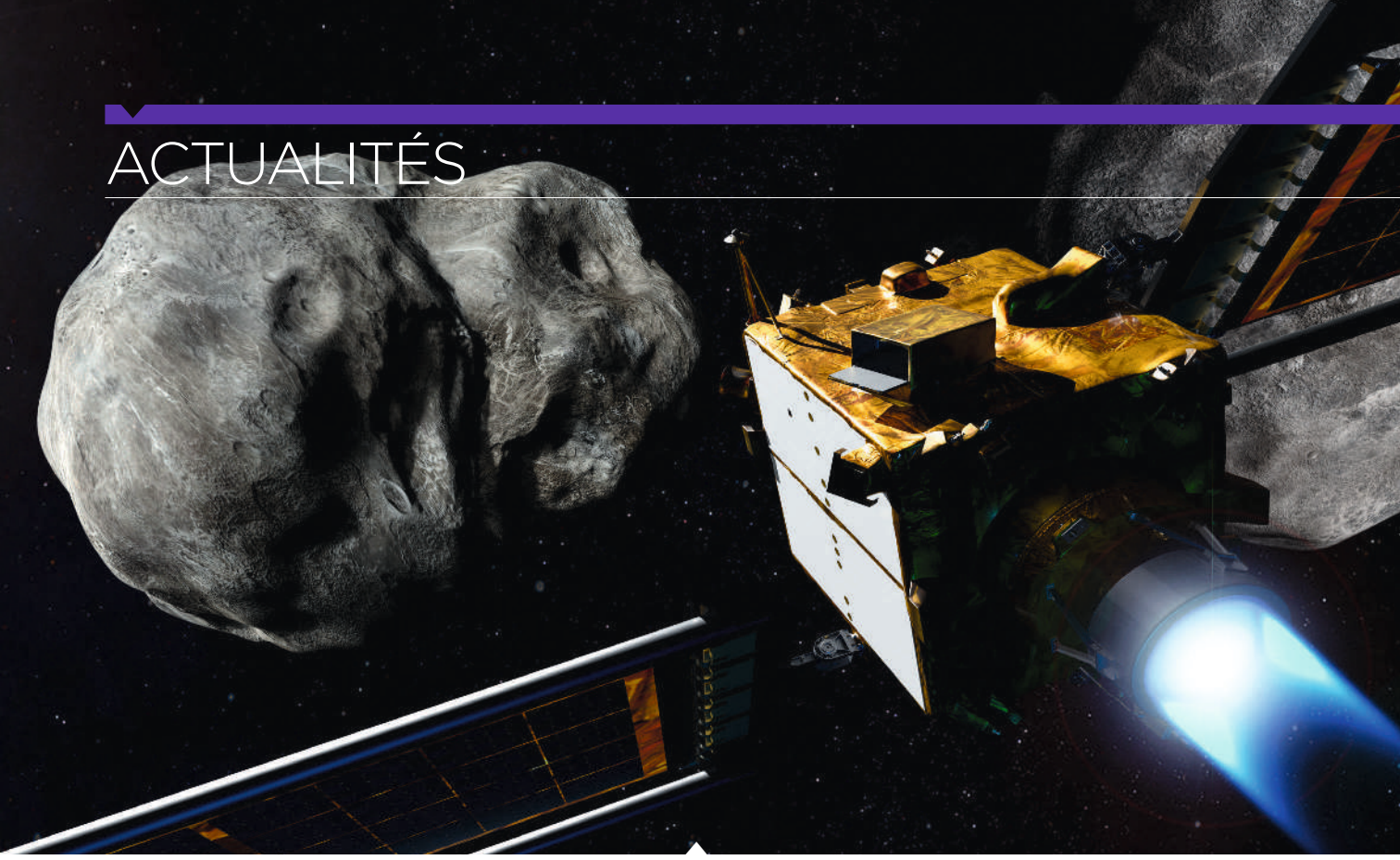
94 **Chroniques**
Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

96 **Questions de lecteurs**

97 **Solutions des jeux**

98 **Jeux**

JAMES WEBB SPACE TELESCOPE VUE D'ARTISTE - ILUSTRATION NADIA RHABI, PHOTO GETTY IMAGES - SIPA - GENOME INSTITUTE OF SINGAPORE, A*STAR



L'impacteur Dart devrait être à proximité de l'astéroïde double Didymos en septembre 2022, à 11 millions de kilomètres de la Terre (vue d'artiste).

NASA/JOHNS HOPKINS APL

Une mission inédite pour dévier un astéroïde

La sonde américaine Dart devra percuter un objet géocroiseur pour modifier sa trajectoire. L'objectif est de protéger la Terre de futures menaces.

Un nouveau chapitre s'ouvre dans l'histoire des missions spatiales : la sonde américaine Dart (Double Asteroid Redirection Test) s'apprête à démontrer qu'il est possible de dévier la trajectoire d'un astéroïde susceptible de menacer la Terre. Son lancement est prévu à partir du 24 novembre depuis la base de Vandenberg, en Californie (États-Unis). Dart doit rejoindre fin septembre 2022 l'astéroïde double Didymos, un système composé d'un corps principal de 780 mètres de diamètre et d'une petite lune de 160 m, Dimorphos. C'est cette dernière qui est ciblée car, captive de la gravité du corps principal, elle ne risque pas d'être catapultée de manière incontrôlée dans l'espace par l'impact. Par ailleurs, la taille de Dimorphos en fait une candidate idéale : si un astéroïde de plus de 140 m s'écrasait sur la Terre, cela aurait des effets catastrophiques à l'échelle d'un pays, voire d'un continent. En deçà, l'objet aurait de fortes chances d'exploser dans l'atmosphère. « *Il y aurait entre 13 000 et 20 000 astéroïdes de plus de 140 mètres de diamètre, mais on n'en connaît qu'environ 40 % à ce jour. La probabilité pour qu'un tel objet frappe la Terre est de un tous les dix mille ans,* explique Patrick Michel, astrophysicien à l'observatoire de la Côte d'Azur. *Mais cela arrivera un jour et il faut s'y préparer.* »

Des télescopes seront braqués sur la scène

Fin septembre 2022, le système Didymos sera à moins de 11 millions de kilomètres de nous, ce qui permettra de l'observer depuis la Terre et d'analyser ses propriétés avant que Dart ne vienne percuter Dimorphos à une vitesse de 6,6 km/s (23 760 km/h). La collision devrait modifier de 1 % la vitesse de la lune sur son orbite autour du corps principal, et donc sa trajectoire. Les télescopes qui seront braqués vers la scène de l'impact devraient alors observer un panache semblable à la chevelure d'une comète. En octobre 2024, la mission européenne Hera sera lancée de Kourou (Guyane) pour rejoindre à son tour le système binaire, afin de mesurer le ralentissement de la trajectoire de Dimorphos et de transmettre une image 3D du cratère. **S. R.**

SIPA

Les poussières de basalte ont 2 milliards d'années.

Les échantillons lunaires chinois ont parlé

ESPACE. Les pierres volcaniques collectées sur la surface de la Lune et rapportées sur Terre par la sonde chinoise Chang'e 5 en décembre 2020 viennent d'être datées par deux équipes indépendantes : deux milliards d'années. Soit les plus jeunes basaltes lunaires jamais examinés. Les derniers échantillons recueillis entre 1969 et 1976 étaient âgés de 3,2 à 4,4 milliards d'années. Les analyses devraient dévoiler des informations inédites sur l'histoire et l'activité géologique de la Lune. **F. D.**

La première exoplanète en dehors de la Voie lactée

Située à 27 millions d'années-lumière de la Terre, cette planète aurait la taille de Saturne.

Une exoplanète a peut-être été découverte dans la galaxie du Tourbillon (M51), à 27 millions d'années-lumière de la Terre ! C'est la première candidate identifiée hors de la Voie lactée. L'astre a trahi sa présence en passant devant une binaire X, une étoile massive en orbite autour d'un trou noir ou d'une étoile à neutrons, un objet extrêmement petit et dense qui aspire une partie de la matière de son « étoile compagnon ». Ainsi, ce système M51-ULS-1 brille entre 100 000 et un million de fois plus que le Soleil. Mais le 20 septembre 2012, la source de rayons X a complètement disparu pendant trente minutes ! Cette éclipse a été enregistrée par le télescope spatial Chandra et retrouvée par Rosanne Di Stefano, du Centre pour l'astrophysique de l'université Harvard (États-Unis), qui révisait ses données. Pour la chercheuse qui publie sa découverte dans *Nature Astronomy*, c'est une planète de la taille de Saturne qui en serait la cause. **J. I.**

NASA

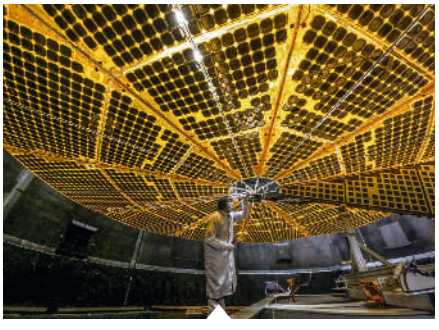
La candidate est nichée dans la galaxie du Tourbillon.

EN DEUX MOTS

SYSTÈME SOLAIRE. La fine atmosphère de Pluton est en train de disparaître ou, plus précisément, de se congeler au fur et à mesure que la planète s'éloigne du Soleil. **VOL.** Trois taïkonautes ont rejoint la station spatiale chinoise en construction Tianhe sur laquelle ils resteront six mois, la plus longue mission habitée lancée par la Chine. **UNIVERS.** De l'eau et du monoxyde de carbone ont été détectés dans une galaxie à 12,88 milliards d'années-lumière de la Terre, preuve que ces molécules se sont formées très tôt dans l'Univers.

Lucy a un problème de panneau solaire

EXPLORATION Lancée le 16 octobre, la sonde américaine Lucy n'a pas réussi à déployer complètement l'un de ses panneaux solaires. Mais cela ne compromet pas la mission, selon la Nasa. L'engin de 1,5 tonne se dirige désormais vers l'orbite de Jupiter, sur laquelle se déplacent les astéroïdes troyens, ces résidus du disque de matière à partir duquel se sont formées les planètes du Système solaire. Lucy en visitera sept, une première. **S. R.**



LOCKHEED MARTIN

La sonde américaine est dotée de 2 panneaux solaires (ici testés) de 7,3 m de diamètre chacun.

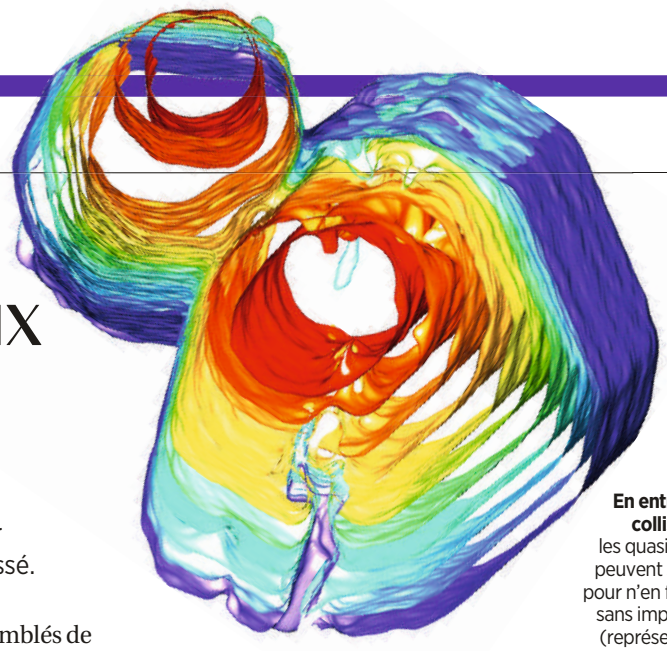
Le signal extraterrestre n'en était pas un

UFOLOGIE Des chercheurs du programme SETI ont cru détecter un signal radio « intelligent » en provenance du système Proxima du Centaure… avant de découvrir qu'il s'agissait d'une interférence au niveau du radiotélescope Parkes (Australie). Un mal pour un bien : ils ont mis au point un nouveau protocole capable de prévenir ce genre de fausse alerte. **F. N.**

SOURCE : SOFIA SHEIKH, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

Les quasi-cristaux vont sortir de l'oubli

Des physiciens affirment pouvoir empêcher l'apparition de fissures dans ce matériau délaissé.



En entrant en collision, les quasi-cristaux peuvent se fondre pour n'en faire qu'un, sans imperfection (représentation).

SHAHANI GROUP, UNIVERSITY OF MICHIGAN

Stars des matériaux dans les années 1980 et 1990, avec des coefficients de frottement proches de ceux du diamant, une flexibilité à haute température et des propriétés isolantes, les quasi-cristaux, alliages métalliques dans lesquels les atomes sont ordonnés mais assemblés de façon non répétitive, promettaient une révolution. Et ce dans de nombreux domaines, notamment pour de super-isolants thermiques et phoniques. Las ! l'apparition fréquente de microfissures entre leurs cristaux n'a pas permis de concrétiser ces promesses. Mais de nouvelles découvertes pourraient les sortir de l'ombre. Une équipe de physiciens affirme dans *Nature Communications* avoir trouvé un moyen d'empêcher l'apparition de ces fissures. Dans certaines conditions, de petits quasi-cristaux peuvent entrer en collision et se fondre ensemble, formant alors un cristal plus grand mais dénué d'imperfections. **M. B.**

CALTECH

À VOIR SUR LE NET

« Leo », premier robot funambule

CYBERNÉTIQUE Mi-humanoïde bipède mi-drone, le prototype de robot baptisé Leonardo et dévoilé par des ingénieurs du California Institute of Technology aux États-Unis est capable d'alterner voire de combiner la marche et le vol en fonction du terrain sur lequel il évolue. Un système de locomotion hybride inédit inspiré des oiseaux se déplaçant sur les câbles électriques. **A. T.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

L'EXPRESSION DU MOIS

Apprentissage profond par renforcement évolutif

ROBOTIQUE Cette nouvelle méthode d'intelligence artificielle combine l'apprentissage par renforcement qui simule l'essai-erreur, avec la notion d'évolution naturelle. Dans une modélisation numérique, des créatures animées ont vu leur morphologie évoluer au fil des étapes de l'apprentissage pour réussir à se mouvoir sur diverses surfaces et déplacer des objets. **A. D.**

SOURCE : AGRIM GUPTA, UNIVERSITÉ DE STANFORD, ÉTATS-UNIS.

Le pouvoir réfléchissant de la Terre est en baisse (ici observée par la sonde lunaire LRO).

NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY

La Terre pâlit !

GÉOPHYSIQUE En vingt ans, l'albédo de notre planète, c'est-à-dire le pouvoir réfléchissant de sa surface, a diminué de 0,5 %, soit l'équivalent d'un demi-watt de lumière en moins par mètre carré. En cause, une réduction du nombre de nuages bas sur l'océan Pacifique oriental, liée au réchauffement climatique. La quantité de lumière qui n'est plus réfléchie est susceptible d'accélérer la hausse des températures. **J. I.**

SOURCE : P. R. GOODE, NEW JERSEY INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ÉTATS-UNIS.

La Nasa prête pour retourner sur la Lune

ESPACE Le vaisseau spatial Orion de la Nasa a été installé pour la première fois au sommet de la fusée lunaire SLS (Space Launch System) le 20 octobre, au centre spatial Kennedy, en Floride (États-Unis). L'ensemble, qui culmine à plus de 98 mètres, devrait être lancé à partir du 12 février 2022 pour la mission Artemis 1 sans équipage autour de la Lune, qui devrait durer 25 jours environ. Le premier vol de quatre astronautes, Artemis 2, est prévu, lui, pour 2023. **S. R.**

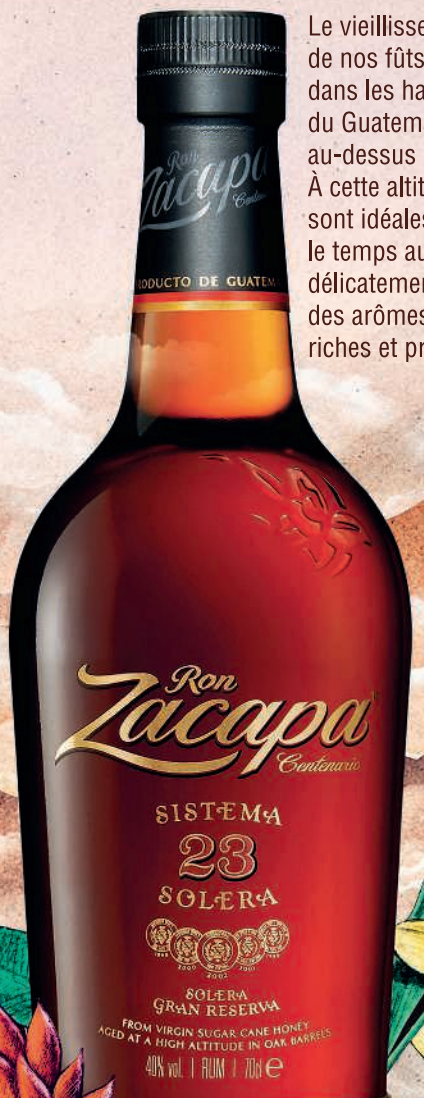
La capsule Orion a été installée au sommet de la fusée lunaire le 20 octobre.

NASA/FRANK MICHAUX

Ron Zacapa™ Centenario

LE RHUM VIEILLI AU-DESSUS DES NUAGES

Le vieillissement de nos fûts s'accomplit dans les hauts plateaux du Guatemala à 2300 mètres au-dessus du niveau de la mer. À cette altitude, les conditions sont idéales pour donner le temps au rhum de vieillir délicatement et développer des arômes exceptionnels, riches et profonds.



La flore représentée est caractéristique du Guatemala, terroir du rhum Zacapa

MHD - RCS Nanterre 337 080 055 - 105 boulevard de la Mission Marchand - 92400 Courbevoie.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

T. GUILLOT

QUESTIONS À

Tristan Guillot

Astrophysicien à l'observatoire de Nice-Côte d'Azur

« L'atmosphère de Jupiter en 3D »

Quatre études exploitant les mesures prises par la sonde Juno révèlent la structure interne de la Grande Tache rouge, et celle d'autres formations cycloniques.

Qu'est-ce que Juno nous apprend sur la Grande Tache rouge ?
Nous savons désormais que cet anticyclone de 16 000 km de large s'étend sur environ 300 km de profondeur. C'est bien au-delà des 50 km estimés jusqu'ici ! La sonde a aussi scruté un cyclone et un anticyclone de l'hémisphère Nord. Ces tourbillons ne font qu'entre 100 et 200 km de profondeur, mais là encore c'est plus que prévu, et on peut mesurer pour la première fois leur structure verticale.

Comment Juno a-t-elle pu sonder ainsi l'atmosphère de Jupiter ?
La mesure du champ gravitationnel au-dessus de la Grande Tache rouge a révélé la concentration de matière à cet endroit, et donc le volume de la tache. Et le radiomètre à micro-ondes a mesuré sa température en profondeur et sa composition en ammoniac. En comparant ces conditions avec celles régnant autour, nous avons pu circonscrire la tache en profondeur. Nous avons aussi pu sonder avec cette technique les bandes nuageuses de Jupiter.

À quoi vont servir ces résultats ?
Ils vont nourrir nos modèles numériques, pour comprendre la dynamique de l'atmosphère de Jupiter, Saturne, Neptune ou Uranus, mais aussi des exoplanètes dont beaucoup sont des géantes gazeuses… **Propos recueillis par F. N.**

MIT CSAIL

Les cartes des zones à risque d'accident établies par l'intelligence artificielle.

Prévoir les accidents futurs sans les données du passé

INFORMATIQUE En faisant analyser par un algorithme d'apprentissage profond des données GPS et les images satellitaires de la configuration des routes, des chercheurs ont pu générer des cartes des zones les plus à risque dans quatre villes américaines (Los Angeles, New York, Boston, Chicago) sans avoir besoin des historiques d'accidents. **A. D.**

SOURCE : S.HE, MIT, CAMBRIDGE, ÉTATS-UNIS.

877,74 secondes La durée de vie d'un neutron libre

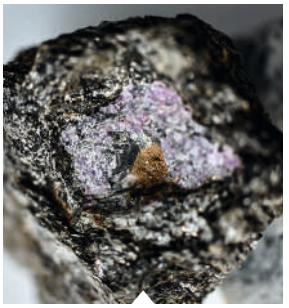
PHYSIQUE **Des chercheurs sont parvenus à mesurer avec une précision inégalée la durée de vie moyenne du neutron lorsque cette particule neutre est placée en dehors du noyau d'un atome. Soit 877,74 secondes ou 14 minutes et 37,74 secondes. M. B.**

SOURCE : F.M. GONZALEZ, LABORATOIRE NATIONAL DE LOS ALAMOS, ÉTATS-UNIS.

De la vie a fait croître ce rubis

GÉOLOGIE Une trace de vie ancienne a été trouvée dans un rubis âgé de 2,5 milliards d'années et découvert dans un gisement au sud-ouest du Groenland. Les résidus de carbone correspondent à un micro-organisme ou à une algue. Selon les chercheurs, c'est cet organisme qui a permis la croissance du rubis en modifiant la chimie des roches environnantes. **S. R.**

SOURCE : C. YAKYMCHUK, UNIVERSITÉ DE WATERLOO, CANADA.


UNIVERSITY OF WATERLOO

Du carbone (en marron) a été retrouvé dans la pierre âgée de 2,5 milliards d'années.

Du bois plus tranchant que l'acier

CHIMIE Des lames fabriquées à partir de bois se sont révélées plus tranchantes que des couteaux de cuisine en acier ou en céramique. Pour les fabriquer, les ingénieurs ont retiré certaines biomolécules (la lignine et l'hémicellulose) et appliqué une pression de 20 mégapascals. Résultat : un matériau 23 fois plus dur que le bois naturel, pouvant être taillé et aiguisé. **F. D.**

SOURCE : BO CHEN, UNIVERSITÉ DU MARYLAND, ÉTATS-UNIS.

RIVAGES
DU MONDE

Prendre le large, c'est essentiel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit Dreamstime

Croisières

EXPÉDITIONS

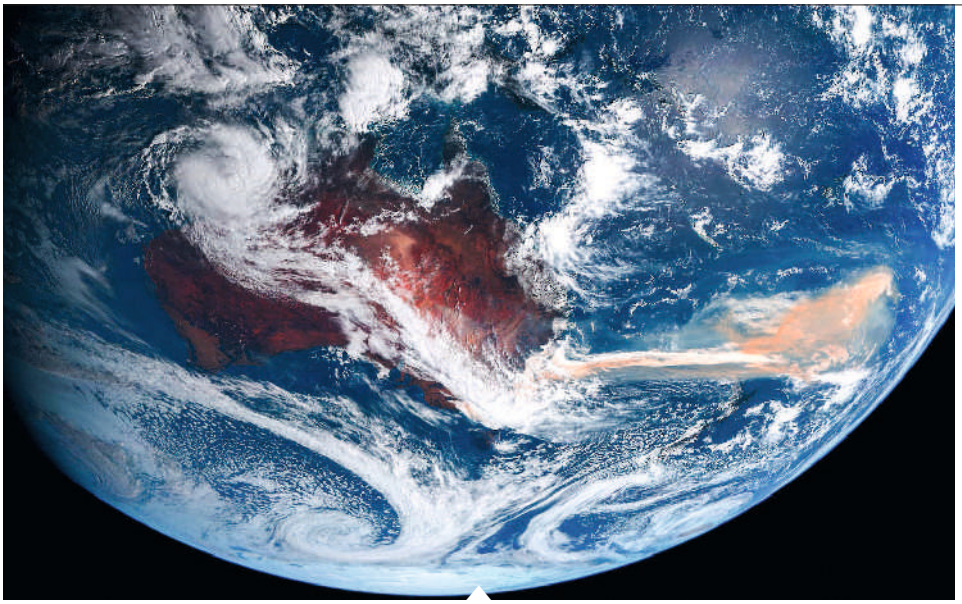
NORVÈGE • ARCTIQUE • ISLANDE • GROENLAND • SPITZBERG

A bord d'un véritable yacht d'expédition, conçu pour 180 passagers.
Un navire à propulsion hybride, pouvant stationner sans jeter l'ancre, pour une meilleure protection des sanctuaires marins. Des conférenciers spécialistes des régions polaires présents à bord.

SA01

Voguer. Échanger. Rêver

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR



INSTITUT NATIONAL JAPONAIS DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Le long panache de fumée consécutif aux incendies géants qui ont ravagé l'Australie est nettement visible (en orange) sur cette image prise en 2019 par le satellite de surveillance Sentinel.

Les mégafeux nourrissent le plancton

Certaines espèces planctoniques de l'océan Pacifique auraient absorbé des tonnes de carbone émis par la combustion de 19 millions d'hectares de forêts australiennes en 2019-2020.

Les particules contenues dans les fumées des gigantesques incendies de 2019 et 2020 en Australie n'ont pas été perdues pour tout le monde. L'énorme panache provoqué par la combustion de 19 millions d'hectares de forêts était en effet plein de nutriments, dont le fer naturellement présent dans la lignocellulose des arbres. En retombant à des milliers de kilomètres de là, dans les eaux du Pacifique Sud réchauffées par l'été austral, ces particules ont engraissé les rares planctons présents dans ce désert océanique, accéléré leur reproduction et provoqué une énorme « tâche biologique », preuve d'une vie planctonique intense. À tel point que les satellites de surveillance de la Terre du programme européen Copernicus ont pu la repérer. *« C'est du moins ce que ces observations suggèrent car les scientifiques n'étaient pas présents dans cette zone pour constater le phénomène »*, nuance cependant Nicolas Cassar, chercheur à l'université Duke (États-Unis) et coauteur de l'étude publiée dans *Nature*.

Ce travail révèle-t-il finalement un effet bénéfique de l'émergence des mégafeux dus au changement climatique ? C'est aller vite en besogne. *« D'abord nous ne savons rien des espèces planctoniques qui ont proliféré et il est possible qu'elles soient toxiques pour le milieu marin,* pondère Nicolas Cassar. *Ensuite, ce plancton est-il resté à la surface ou bien a-t-il été consommé dans la chaîne alimentaire ou est-il tombé dans les profondeurs ? Dans le premier cas, le CO_2 est très vite reparti dans l'atmosphère. Dans le second, on peut espérer une séquestration sur le long terme. »* Aussi, aux prochains mégafeux qui ne manqueront pas de se produire, les chercheurs envisagent de partir rapidement en mer afin d'étudier les espèces planctoniques qui en profitent et quantifier les tonnes de carbone absorbées. **L. C.**

Total a caché son impact climatique

ENVIRONNEMENT Total connaissait l'impact climatique de la combustion des énergies fossiles dès 1971, mais a caché ces informations jusqu'à la fin des années 1980. C'est la conclusion d'un examen approfondi des publications du pétrolier entre 1971 et 2021. Les dénis n'ont cessé qu'au tournant du siècle avec les certitudes scientifiques apportées par le Giec que le climat se réchauffait bien. **L. C.**

SOURCE : CHRISTOPHE BONNEUIL, CENTRE DE RECHERCHES HISTORIQUES, FRANCE.

Un vaccin pour sauver les koalas

TERRY WALSH/UNIVERSITY OF THE SUNSHINE COAST

Le koala Shano reçoit son vaccin contre la chlamydia.

ZOOLOGIE Un vaste essai de phase 3 (efficacité et tolérance) a commencé en Australie pour vacciner 400 koalas contre l'infection à la bactérie *Chlamydia*, maladie sexuellement transmissible qui fait des ravages chez ces marsupiaux endémiques de l'île-continent. Dans certaines régions, jusqu'à 100 % des individus sont infectés. Les premiers bénéficiaires de ce vaccin prometteur ayant déjà fait l'objet de petits essais sont des pensionnaires de l'Australia Zoo Wildlife Hospital, à Beerwah. **H. J.**

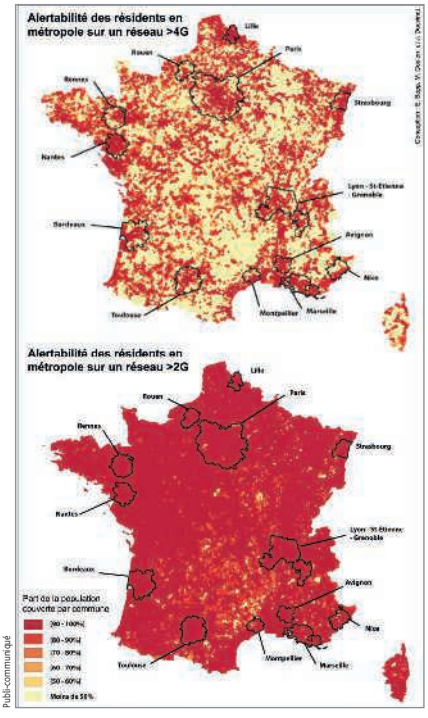
AVIGNON UNIVERSITÉ

Moderniser l'alerte aux populations en France : des attendus considérables !

Plusieurs événements récents (feux de forêt, inondations, accidents industriels) soulignent la nécessité d'alerter la population dans un délai court, voire immédiat. L'ère des sirènes (chargées traditionnellement d'alerter la population) va désormais laisser place à une plateforme multicanale, attendue au plus tard le 21 juin 2022, avec des attendus considérables !

Divers événements récents (feux de forêt, inondations rapides) soulignent à quel point il est urgent d'alerter la population dans des délais adaptés (ni trop tôt, ni trop tard), et avec des messages explicites sur les conduites à tenir. Attendue au plus tard en juin 2022 sur l'ensemble de la métropole et les territoires d'outre-mer, la plateforme FR-Alert permettra la diffusion d'une alerte par messages textuels sur les téléphones des individus, localisés en temps réel. La diffusion cellulaire consiste à envoyer une notification sur les smartphones, sur un réseau 4G, et elle s'achève en quelques secondes, quelle que soit la taille de la population alertée. Elle couvrirait 81,3 % des Français (*Figure 1*). Le LB-SMS consiste à envoyer l'alerte par SMS géo-localisé sur un réseau 2G minimum, sans distinction avec d'autres SMS classiques. Si 94,2 % des Français seraient alertables (*Figure 1B*), l'effet de congestion sur les réseaux de télécommunications peut toutefois allonger le temps de diffusion, et les LB-SMS ne sont pas préconisés en cas d'urgence massive immédiate. Mais en hybridant ces canaux autour d'un standard international (le CAP, «Common Alerting Protocol»), le but est de rendre l'alerte à la fois multicanale et adaptable.

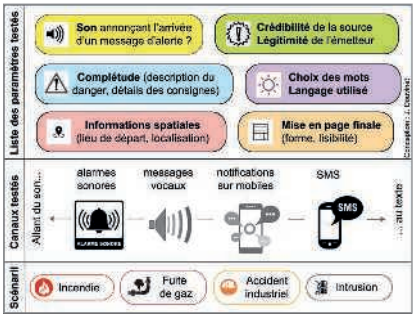
Fig 1. Couverture théorique d'une alerte sur la 4G ou sur les réseaux 2G, 3G et 4G en métropole



Les enjeux sont évidemment technologiques. Dans le cadre du projet de recherche ANR « Cap-4-Multi-Can'Alert », coordonné par Johnny Douvinet, 2 équipes de recherche (travaillant en géographie à l'Université d'Avignon et en psychologie à l'Université de Nîmes) et 2 acteurs privés (ATRISC, spécialisé dans la gestion de crise, et F24, leader Européen dans le secteur du logiciel d'alerte et de gestion de crise) ont travaillé ensemble. L'interopérabilité de la future plateforme avec d'autres canaux de diffusion (des applications, des médias sociaux, des sirènes, des panneaux d'affichage variable, des panneaux publicitaires, ou d'autres sites web d'information) a été étudiée. Le degré de maturité des fournisseurs envers le standard international CAP a également été questionné, et certains résultats montrent qu'il faut interconnecter la plateforme FR-Alert avec tous les systèmes de gestion de crise et de notifications existants, dans un écosystème toujours plus innovant au service de la sécurité civile.

Mais les enjeux sont aussi humains. Dans le cadre de ce même projet, différents contenus de messages d'alerte ont été testés dans différents contextes (université, environnement industriel, zone littorale) et auprès de divers publics (étudiants, industriels, pompiers, touristes). Les sons, la longueur des messages, le choix des mots et les informations géographiques ont été changés pour étudier les ressentis induits chez les participants. Des tendances comme l'influence de l'âge et la confiance envers l'émetteur ont été confortées, tout comme le poids de certains mots, qui suscitent du stress ou de l'incrédulité (comme les termes « urgent » ou « fuyez »). C'est désormais le verrou le plus important à lever : il faut que chaque individu apprenne à réagir en cas d'alerte, et qu'un message d'alerte (unique) fasse sens pour le plus grand nombre. D'où la nécessité de planifier des expérimentations d'alerte et d'acculturer les publics.

Fig 2. Les 6 paramètres qui conditionnent les capacités d'action et de réponse individuelle en cas d'alerte



Le projet de recherche Cap-4-Multi-Can'Alert (2020-2021) a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et le Secrétariat général de la Défense et de la Sécurité nationale (SGDSN). La plateforme FR-Alert sera techniquement testée à partir de mai 2022, et la population sera invitée à émettre des avis ou à faire part de ses attentes.

AVIGNON UNIVERSITÉ
7 rue Louis Pasteur, Case 19 - 84000 AVIGNON
Tél. : 04 90 16 25 16
e-mail : johnny.douvinet@univ-avignon.fr
https://univ-avignon.fr/site-institutionnel-de-l-universite-d-avignon-859.kjsp
Site du projet : https://capalert.univ-avignon.fr/

PATRICIA ALVAREZ-LOAYZA

« Aenigmanu alvareziae » donne des petits fruits rouges.

La mystérieuse plante d'Amazonie a un nom

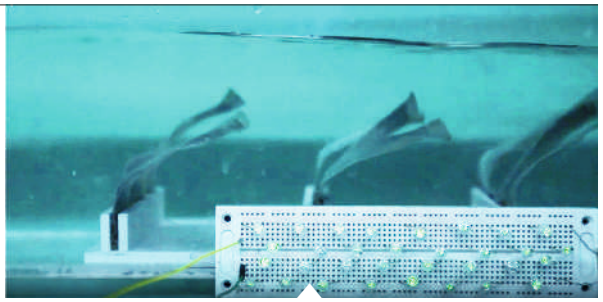
BOTANIQUE Après cinquante années à s'interroger, des botanistes sont enfin parvenus à donner un nom à cette plante découverte en Amazonie dans les années 1970. C'est l'analyse ADN de nouveaux échantillons — frais — récupérés dans le parc national de Manù au sud-est du Pérou qui a permis de classer la nouvelle espèce dans la famille des *Picramniaceae*, et de la baptiser *Aenigmanu alvareziae*. **A. T.**

SOURCE : WILLIAM WAYT THOMAS, JARDIN BOTANIQUE DE NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

IL A DIT

« Je ne vais pas courir après la glace »

Mathieu Dechavanne, P-DG de la Compagnie du Mont-Blanc, à propos de la rénovation du site de Montenvers d'accès à la mer de Glace, qui révèle qu'après 2050 le plus grand glacier ne sera plus accessible par téléphérique du fait de son recul. **L. C.**



YAN WANG XIANGYU LIU ET AL.

Le nanogénérateur, doté de bandes polymères semblables à des algues, transforme la puissance des vagues en énergie.

Des algues artificielles productrices d'énergie

INGÉNIERIE Des générateurs électriques ondulent comme des algues pour transformer en énergie la puissance des vagues. Ce système mis au point par des ingénieurs chinois fonctionne à l'aide de deux bandes de polymères enduites d'un vernis conducteur, séparées par une petite éponge créant un mince espace d'air entre elles. L'ensemble plie et vibre au gré des ondes de l'eau, générant de l'électricité statique par le frottement des deux surfaces. **S. R.**

SOURCE : YANG WANG, UNIVERSITÉ MARITIME DE DALIAN, CHINE.

Le braconnage fait perdre leurs défenses aux éléphantes

ZOOLOGIE Plus de la moitié des éléphantes nées après la guerre civile du Mozambique (1977-1992) n'ont pas de défenses. Une étude dans *Science* démontre qu'en ciblant les femelles porteuses d'ivoire pour financer le conflit, les braconniers ont favorisé la reproduction des 18 % d'éléphantes n'en portant pas du fait de mutations génétiques. **L. C.**

SOURCE : SHANE CAMPBELL-STATON, UNIVERSITÉ DE PRINCETON, ÉTATS-UNIS.

PETER CHADWICK/GETTY IMAGES

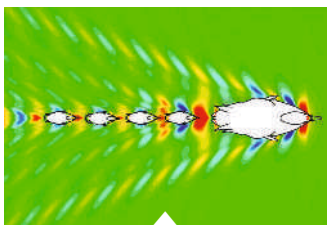
Les femelles nées sans défenses en raison d'un trait génétique rare, ont eu plus de chances de survivre.

Les canetons surfent sur les vagues de leur mère

Cette nage en file indienne permet à la progéniture de réduire son effort physique.

Si les canetons suivent leur mère à la nage en file indienne c'est parce qu'ils réduisent ainsi leur effort physique, viennent de montrer des scientifiques de l'université de Glasgow (Royaume-Uni) et de l'université du Jiangsu (Chine). Deux phénomènes sont à l'œuvre. D'abord le « chevauchement de vagues » : lorsque le premier caneton nage derrière sa mère, les ondes qu'elle produit se brisent sur celles du bébé. Résultat, l'oisillon, au lieu de nager activement, surfe sur les vagues générées par sa mère. Cet avantage se transmet aux autres canetons. Ensuite, à partir du troisième, la traînée (force qui s'oppose au mouvement) tend progressivement vers zéro. *« Chaque individu agit alors comme un passeur de vagues, transmettant l'énergie de celles-ci à son suiveur »*, explique Zhi Ming Yuan, qui a mené l'étude. **R. M.**

ALBERT BEUKHOF/SOLENT NEWS/SIPA



ZHI-MING YUAN ET AL./CAMBRIDGE UNIVERSITY

La modélisation a permis de comprendre la mécanique des fluides à l'œuvre dans la nage des canetons.

LEGS, DONATIONS, ASSURANCES-VIE

Léguer au Secours populaire français, c'est multiplier votre bonheur à l'infini pour faire vivre une solidarité de proximité contre la pauvreté et l'exclusion des enfants et des personnes les plus démunies.

Demande de documentation gratuite et confidentielle

À renvoyer au Secours populaire français - 9/11, rue Froissart - 75140 Paris Cedex 03

❑ **OUI**, je souhaite recevoir la brochure sur les legs, donations et assurances-vie par: ☐ courrier ☐ email

☐ **Mlle**
☐ **Mme**
☐ **M.**

Nom* Prénom

Adresse :

Code postal Ville

Téléphone E-mail

21LEGA22

Votre contact:
Carole Pezron
01 44 78 79 26

Le Secours populaire français est une association reconnue d'utilité publique. Exonérée de tous droits de succession, elle vous garantit le respect scrupuleux de vos volontés et la rigueur de la gestion dans l'utilisation des fonds.

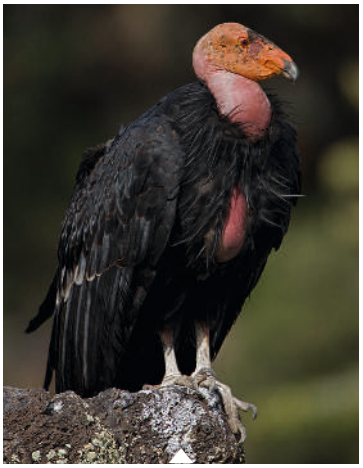
DON EN CONFIANCE

* Les informations recueillies sur ce formulaire sont enregistrées dans un fichier informatisé par le Secours populaire français, 9 rue Froissart - 75140 Paris CEDEX 03. Le responsable de traitement est M. Thierry Robert, Directeur général. Ces données sont destinées à la Direction de la communication et de la collecte, à la Direction financière et aux tiers mandatés par le Secours populaire français, à des fins de gestion interne, pour répondre à vos demandes, faire appel à votre générosité, vous adresser votre reçu fiscal ainsi que des informations sur les missions du SPF et vous remettre la carte de donateur. Le Secours populaire français ne transfère pas les données en dehors de l'Union Européenne. Les données ne sont ni louées, ni échangées, ni vendues à des tiers. Conformément à la réglementation relative à la protection des données à caractère personnel, vous pouvez accéder à vos données personnelles, demander leur rectification, limitation ou effacement et vous opposer à leur utilisation, en contactant le «service relation donateur» au 9/11 rue Froissart - 75140 Paris cedex 03 - 01 44 78 22 37 - **relation.donateurs@secourspopulaire.fr**. Ces données sont conservées pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation des finalités précitées.

Les condors de Californie peuvent se reproduire… sans mâle

Des femelles rapaces sont parvenues à avoir des petits sans accouplement, par parthénogenèse.

C'est avec une grande surprise que des biologistes américains ont découvert que les condors de Californie sont capables de se reproduire de façon asexuée par parthénogenèse. Ce phénomène déjà connu chez certaines espèces animales dont des reptiles, des poissons et de rares oiseaux n'avait jamais été observé chez ce charognard en danger critique d'extinction — il n'en restait en 2019 que 525 spécimens dont 219 en captivité. Une équipe de recherche menée par le zoo de San Diego (États-Unis) a rapporté le cas de deux condors de Californie nés ainsi et issus de mères différentes. Celles-ci côtoyaient pourtant toutes deux des mâles fertiles, ce qui en ferait les premiers exemples de parthénogenèse aviaire dans ces conditions. Pour expliquer le phénomène, les biologistes évoquent l'automixie : la cellule œuf serait issue de la fusion de deux cellules maternelles ne contenant qu'un seul jeu de chromosomes. **A.-S. T.**



JOHN CANCALOSI / BIOSPHOTO

Ce grand oiseau est en danger critique d'extinction.

Darwin a utilisé cet appareil pour étudier les anémones, coraux et éponges de mer.

Le microscope de Charles Darwin mis aux enchères

BIOLOGIE Un microscope ayant appartenu à Charles Darwin sera proposé aux enchères le 15 décembre chez Christie's. Le précieux appareil de 1825 a notamment été utilisé par le père de la théorie de l'évolution pour ses recherches sur les coraux, anémones et éponges de mer. Sa valeur est estimée par les experts entre 300 000 et 415 000 euros. **H. J.**

JULIAN ANDERSON/EYEVINE/ABACAPRESS.COM

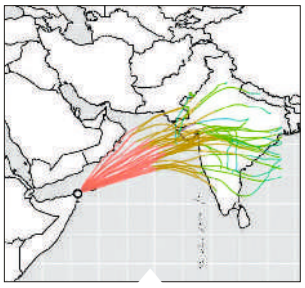
EN DEUX MOTS

INSECTE. Après le frelon asiatique, une nouvelle espèce est arrivée en France, le frelon oriental originaire des Balkans, probablement introduit par bateau. **OGM**. Créé en 2008 pour évaluer notamment l'impact des OGM, le Haut Conseil des biotechnologies sera dissous le 1er janvier 2022 et ses missions transférées à l'Anses. **ÉOLIEN.** La cour d'appel de Toulouse a reconnu la réalité d'un « syndrome éolien » dont se plaignait un couple installé dans le Tarn, notamment causé par les flashs lumineux balisant le parc près de leur terrain.

Les libellules migrent sans escale entre l'Inde et l'Afrique

ENTOMOLOGIE La *Pantala flavescens*, dite libellule globe-trotteur, peut parcourir des milliers de kilomètres à travers l'océan Indien entre l'Inde et l'Afrique pour trouver l'âme sœur. En étudiant ses capacités physiologiques et la trajectoire des vents, les chercheurs estiment qu'il s'agit de la plus longue migration sans escale d'un animal rapportée à sa taille. **H. J.**

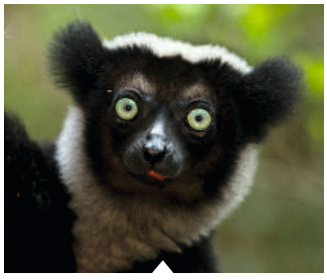
SOURCE : JOHANNA HEDLUND, UNIVERSITÉ DE LUND, SUÈDE



JOHANNA S.U. HEDLUND ET AL.

Trajectoires des vents sur lesquels se reposent les insectes (du rouge au bleu par journée de migration).

Ce lémurien a le rythme dans la peau



ANDY ROUSE/NATUREPL

L'« Indri indri » partage des capacités ryhmiques avec les humains.

ÉTHOLOGIE Le sens du rythme vient d'être identifié pour la première fois chez des primates non humains, les *Indri indri*, lémuriens hurleurs de Madagascar. Leurs chants choraux présentent des catégories rythmiques classiques (des intervalles réguliers entre des sons), ainsi qu'un « ritardando » ou ralentissement typique de plusieurs traditions musicales humaines. **R. M.**

SOURCE : MARCO GAMBA, UNIVERSITÉ DE TURIN, ITALIE.

DU 14 AU 22 MAI 2022

PARIS ✈ REYKJAVIK
TROMSO ✈ PARIS

Jour	Escales	Arrivée	Départ
14/05	Paris / Reykjavik *(Islande)* ✈	Nuit à quai	
15/05	Reykjavik *(Islande)*	Appareillage 17h00	
16/05	Isafjordur *(Islande)*	08h30	18h00
17/05	Husavik *(Islande)* ⚓	08h30	17h30
18/05	Seydisfjordur *(Islande)*	08h00	12h00
19/05	En mer		
20/05	Rorvik *(Norvège)*	16h00	20h00
21/05	Leknes / Îles Lofoten *(Norvège)* ⚓	13h00	19h00
22/05	Tromso *(Norvège)* / Paris ✈	09h30	-

⚓ À l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 2.390 €

par personne en **cabine intérieure, catégorie 2** occupée par **2 personnes.**

(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s Hamburg en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris - Reykjavik et Tromso-Paris.
- La présence (* sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.
- Des animations de qualité chaque soir variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

ISLANDE, LE FEU, LA GLACE, LES HOMMES

CAROLE CHATELAIN
Directrice de la rédaction de *Sciences et Avenir - La Recherche*

RÊVE DE GLACE. Les noms, à eux seuls, font rêver : Isafjordur, Husavik, Osvor... Et même celui de la capitale, Reykjavik, qui sonne comme une stalactite de glace. Avec l'Islande, mot francisé de l'*Ísland* (terre de glace en islandais), surgissent des images de fjords, de baleines, de geysers. Le pays souffle d'emblée le froid, le chaud et l'envie d'en savoir plus. Cela tombe bien. A bord du Ms. Hamburg, aux côtés d'Yves Coppens, préhistorien-parrain des Croisières du Savoir, embarqueront trois connaisseurs des trésors que recèlent ces lieux. Les fameuses sagas islandaises, que décryptera la docteure en études nordiques Gaëlle Reneteaud. Mais aussi l'océan si froid et si riche en poissons et mammifères marins, sans secret pour Gilles Boeuf, ancien directeur du Museum et ami de Sciences et Avenir. Quant aux volcans sous la glace, le Pr Jacques-Marie Bardintzeff nous en dressera un portrait saisissant. Et nous n'oublierons pas la découverte au retour par la Norvège des îles Lofoten et du ravissant port de Rorvik. Vite, embarquons !

ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE *

YVES COPPENS

Paléontologue, spécialiste mondialement connu de l'évolution humaine, académicien et professeur au Collège de France. Il nous parlera du peuplement des îles que nous allons accoster, de la préhistoire aux moines irlandais et aux Vikings. Dernier ouvrage paru : « *Origines de l'Homme, origines d'un homme* ».

GAËLLE RENETEAUD

Docteur en Etudes Nordiques de l'Université Paris-Sorbonne, spécialiste de l'Islande. Elle nous dira ce que sont les *sagas* et leur place dans la culture islandaise et nous racontera le regard porté sur l'Islande dans la cartographie ancienne et les premiers récits de voyage. Dernier ouvrage paru : « *Le(s) Nord de Xavier Marmier* ».

GILLES BOEUF

Biologiste, spécialiste de la biodiversité marine et terrestre, professeur à Sorbonne-Université. il nous expliquera l'extraordinaire richesse du monde marin, ainsi que l'importance vitale pour l'humanité, mais aussi l'extrême fragilité, de la biodiversité. Dernier ouvrage paru : « *La biodiversité, de l'océan à la cité* ».

JACQUES-MARIE BARDINTZEFF

Volcanologue professeur à l'Université Paris-Sud Orsay. Il nous présentera les volcans d'Islande et leurs éruptions, les geysers et la géothermie, les paysages étonnants. Il nous expliquera comment des volcans prennent naissance au fond des océans puis émergent en îles. Dernier ouvrage paru : « *Volcanologue* ».

Avec

OLIVIER LASCAR

Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir

Pendant la croisière l'œil de Lascar restera ouvert, pertinent et... impertinent !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**

CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET** - **info@plein-cap.com** - Tél. **04 93 20 21 20**

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

IM006120053

JOE CAROTTA/NYU LANGONE HEALTH/AFP

Les chirurgiens new-yorkais ont greffé le rein du cochon aux vaisseaux sanguins du patient en maintenant l'organe à l'extérieur du corps.

Un rein de cochon greffé chez l'humain

L'organe porcin n'a pas été rejeté par le corps du patient en état de mort cérébrale et a fonctionné correctement. Un essai expérimental prometteur.

Des chirurgiens du centre de santé Langone de l'université de New York (États-Unis) sont parvenus à greffer un rein de cochon sur un être humain sans que celui-ci ne rejette l'organe porcin. Une première mondiale réalisée dans le cadre d'un essai expérimental sur une personne en état de mort cérébrale dont le maintien en vie devait être arrêté. Avant cela, avec l'accord de la famille, les chirurgiens ont greffé le rein de cochon aux vaisseaux sanguins du patient, mais ont gardé l'organe à l'extérieur du corps pour en observer le fonctionnement durant trois jours. Non seulement le rein n'a pas été rejeté par l'organisme du patient, mais il a fonctionné correctement, produisant une quantité normale d'urine selon les chirurgiens, qui n'ont toutefois pas encore publié les résultats de leur essai.

Des greffons génétiquement modifiés

« C'est une avancée très importante, d'autant plus qu'on ne peut pas encore faire de reins artificiels », affirme Sophie Brouard, directrice de recherche CNRS au Centre de recherche en transplantation et immunologie au CHU de Nantes (Loire-Atlantique), qui n'a pas participé à cet essai. La possibilité de pallier le manque de greffons humains avec des organes d'animaux est une idée ancienne, mais jusqu'ici, toutes les tentatives de xénogreffe avaient échoué en raison de l'incompatibilité immunitaire entre espèces. Pour les organes porcins, le rejet des greffons est surtout causé par le glycane, un sucre présent chez l'animal qui déclenche une forte réponse immunitaire chez l'humain. Afin d'éviter le rejet, le cochon utilisé avait été modifié génétiquement pour ne plus produire cette molécule. Des essais cliniques devraient commencer d'ici à deux ans selon les chirurgiens new-yorkais, ce qui pourrait ouvrir la voie vers une production d'organes porcins « OGM » plus importante. ■ **N. G. C.**

Un antibiotique spécial contre la maladie de Lyme

INFECTIOLOGIE Un antibiotique tuant spécifiquement les bactéries du genre *Borreliella* responsables de la maladie de Lyme a été identifié par des chercheurs américains : il s'agit de l'hygromycine A, découvert en 1953 par le laboratoire Eli Lilly. Efficace par voie orale chez la souris, sans toxicité, il épargne les bactéries intestinales, contrairement aux antibiotiques à large spectre utilisés pour traiter la maladie. **P. K.**

SOURCE : NADJA LEIMER, UNIVERSITÉ NORTHEASTERN, ÉTATS-UNIS.

Mesurer la glycémie sans aiguille

DIABÉTOLOGIE Afin d'éviter aux diabétiques de se piquer pour recueillir une goutte de sang à partir de laquelle ils mesurent leur glycémie (le taux de sucre dans le sang), des ingénieurs ont mis au point un capteur non invasif en graphène capable de repérer le glucose dans la sueur. Pour rendre le dispositif sensible aux faibles concentrations de sucre dans celle-ci, ils ont intégré du nickel auquel ils ont associé de l'or, réduisant les risques d'allergie. **H. J.**

SOURCE : JIA ZHU, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS.

JIA ZHU, PENNSTATE

Ce capteur de glycémie traque le sucre dans la sueur.

*À force d'entendre qu'on ne vaut rien, on finit par le croire.

APPRENTIS D'AUTEUIL

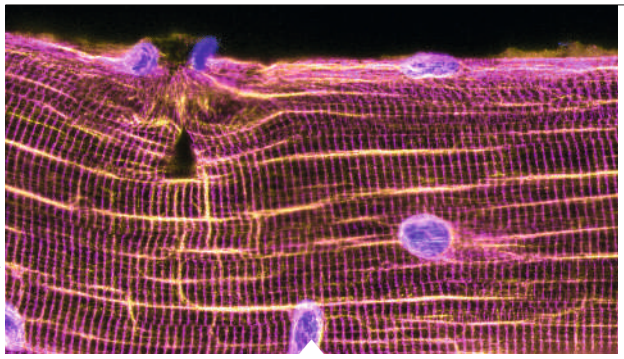
À Apprentis d'Auteuil, nous voyons le meilleur en chacun des 30 000 jeunes(1) que nous accompagnons jour après jour au sein de nos 300 établissements et dispositifs, partout en France. Aidez-les à construire leur avenir.

LA CONFIANCE PEUT SAUVER L'AVENIR

FAITES UN DON sur www.apprentis-auteuil.org

(1) Selon le rapport d'activité Apprentis d'Auteuil 2020.

Agence Marcel - © Aurélien Chauvaud.



WILLIAM ROMAN, INM

Les noyaux (en violet) des cellules musculaires s'approchent de la fissure pour l'aider à se réparer.

Quand les cellules musculaires s'autoréparent

MYOLOGIE Juste après un effort intense, les fibres musculaires souffrent de microdéchirures qui se réparent en quelques heures grâce à un mécanisme original, révèle une étude *in vitro* menée par des chercheurs espagnols et portugais. Les noyaux des cellules musculaires les plus proches des lésions s'en rapprochent afin de produire au plus près les ARNm des protéines requises pour restaurer les fibres. **P. K.**

SOURCE : WILLIAM ROMAN, UNIVERSITÉ POMPEU-FABRA, ESPAGNE.

Les jeux vidéo d'action pour apprendre à apprendre

NUMÉRIQUE La pratique des jeux vidéo d'action accroît davantage les capacités d'apprentissage que celle des jeux de simulation. Une meilleure mémoire de travail et une capacité d'orientation accrue ont été observées après trois à huit heures de jeu par semaine pendant deux mois et demi, indépendamment de la motivation ou du niveau initial des joueurs. **P. K.**

SOURCE : DAPHNÉ BAVELIER, UNIVERSITÉ DE GENÈVE, SUISSE.

Un outil de rééducation de la main récompensé

MOTRICITÉ Un dispositif de rééducation fine de la main, Dextrain, vient de recevoir le prix 2021 du concours Innovation Handicap de la Société française de médecine physique et de réadaptation. Ce petit boîtier et ses 5 pistons reliés à des capteurs de force fournissent une évaluation précise de la dextérité grâce à un entraînement personnalisé et aide à la récupération de la motricité après un AVC. **S. R.-M.**

DEXTRAIN/ARCHOS

Chaque doigt est relié à un programme de rééducation.

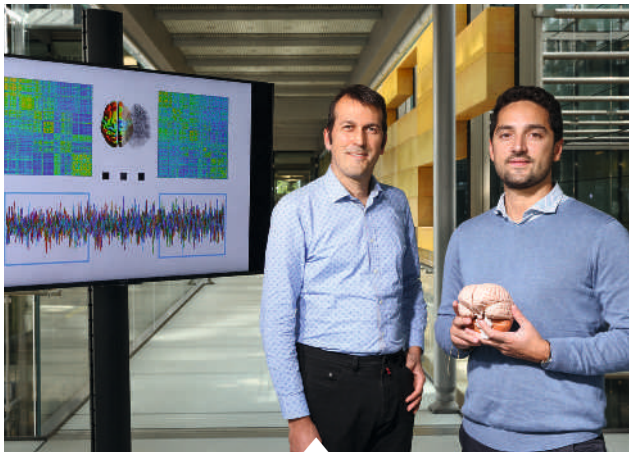
EN DEUX MOTS

POLLUTION. L'exposition aux pesticides de 3350 riverains de 6 vignobles français va faire l'objet d'une investigation par le programme PestiRiv. **CANCER.** Les cas de cancer du col de l'utérus ont chuté chez les Britanniques vaccinées contre l'infection au papillomavirus, à l'origine de ces tumeurs. **ADDICTION.** Au Royaume-Uni, les fabricants de cigarettes électroniques peuvent désormais soumettre leurs dispositifs à l'agence de régulation des produits de santé pour être prescrits aux fumeurs souhaitant arrêter le tabac.

Chaque cerveau a sa propre empreinte

Des chercheurs ont identifié les « empreintes » de l'activité cérébrale qui constituent une signature unique.

Au même titre que ses empreintes digitales, chaque individu possède sa propre « empreinte cérébrale ». Une signature détectable en moins de deux minutes dans un appareil d'IRM fonctionnelle par l'établissement de cartes de réseaux neuronaux (appelées connectomes). Selon Enrico Amico, chercheur à l'École polytechnique de Lausanne (Suisse), ces cartes sont des véritables « *codes-barres cérébraux* » qui contiennent des « *motifs spatiaux uniques* » permettant de distinguer les individus les uns des autres. En étudiant le processus de formation de ces empreintes, Enrico Amico et ses collègues ont montré que différentes parties du cerveau y contribuent à différentes échelles de temps : les premiers signes à apparaître viennent des zones sous-corticales et sensorielles. Plus les secondes passent, plus les régions du cortex frontal, liées à des fonctions cognitives plus complexes, révèlent notre empreinte personnelle. **A. T.**



EPFL

Les chercheurs Dimitri Van De Ville et Enrico Amico devant l'image d'un « connectome », carte des réseaux neuronaux.

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS
LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

SA1221

UNIGE

QUESTIONS À

Christoph Scheiermann

Professeur associé au département de pathologie et immunologie de l'université de Genève (Suisse)

« Le système immunitaire est plutôt du matin »

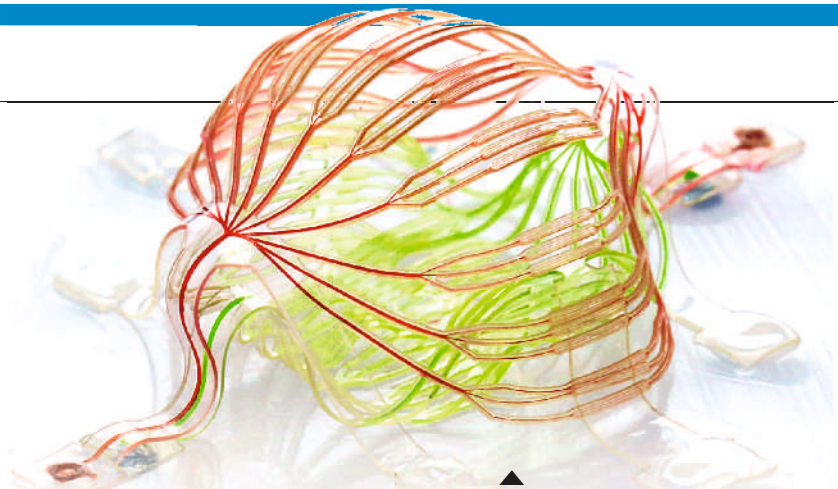
Une équipe de l'université de Genève (Suisse) a montré que l'activité du système immunitaire oscille tout au long de la journée avec un pic d'activité le matin, avant que notre organisme reprenne son activité.

Comment avez-vous étudié les rythmes de l'immunité ?
Nous avons observé un type particulier de cellules immunitaires, les cellules dendritiques (DCs), dont le rôle est de migrer au travers des vaisseaux lymphatiques vers les ganglions pour amorcer une réponse immunitaire contre l'arrivée d'un pathogène. C'est cette capacité migratoire que nous avons évaluée chez la souris en fonction des différents moments de la journée.

Comment décririez-vous ces variations ?
Les DCs migrent de façon rythmée vers les ganglions dans les vaisseaux lymphatiques afférents. Or, cette « rythmicité » dépend conjointement de l'horloge circadienne (cycle jour/nuit) des cellules elles-mêmes et de l'environnement dans lequel évolue l'organisme. Si le cycle est rompu dans l'environnement ou les cellules, le système immunitaire fonctionne au ralenti.

Que cela signifie-t-il ?
Ces oscillations indiquent que notre organisme a davantage besoin du système immunitaire à certains moments de la journée, avec un pic d'activité matinal. Probablement parce qu'il doit se préparer à une potentielle attaque d'agents pathogènes juste avant le début de sa phase active.

Propos recueillis par A. T.


HAIWEN LUAN ET AL./ NORTHWESTERN UNIVERSITY, EVANSTON

Réseau microvasculaire assemblé en 3D, dont les branches les plus fines font 10 µm de largeur.

Des structures microvasculaires reproduites en 3D

MICROFLUIDIQUE Une nouvelle méthode d'assemblage de systèmes microfluidiques permettant de reproduire les capillaires en 3D a été développée par des chercheurs américains. Chargés d'acheminer nutriments et oxygène aux cellules, ces microvaisseaux relient les systèmes artériel et veineux et forment l'ultime maillon du réseau sanguin. Cette prouesse technique devrait permettre d'intégrer ces microstructures pour mieux étudier la distribution des fluides dans des tissus ou des organes artificiels. **H. J.**

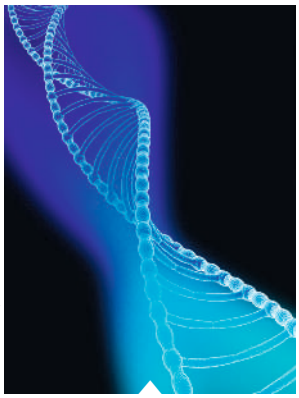
SOURCE : HAIWEN LUAN, UNIVERSITÉ NORTHWESTERN, ÉTATS-UNIS.

28 millions

Le nombre d'années de vie perdues à cause du Covid-19 en 2020

PANDÉMIE Des chercheurs britanniques ont étudié le nombre de décès prématurés dans le monde survenus pendant la pandémie ainsi que l'âge des victimes. Ils en ont conclu que les 3 millions de personnes décédées en 2020 à cause de la pandémie ont perdu chacune en moyenne près de dix ans de leur vie. Pour un total de 28 millions d'années. **N. G. C.**

SOURCE : NAZRUL ISLAM, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.


ALFRED PASIEKA / SCIENCE PHOTO LIBRARY

Un vol spatial peut provoquer des « fuites » d'ADN dans le sang.

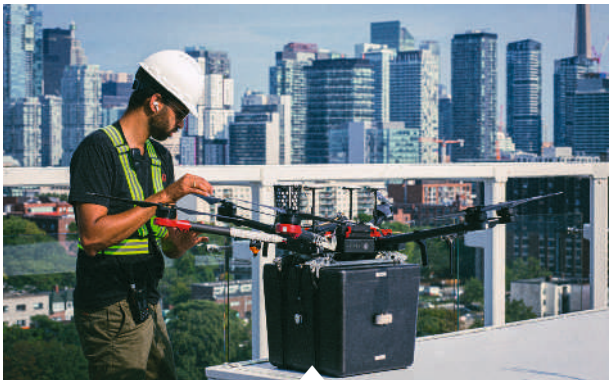
Dans l'espace, l'ADN s'échappe des cellules

BIOLOGIE Lors d'un vol spatial, l'ADN mitochondrial (ADNmt) des astronautes, qui loge en principe dans les mitochondries, centrales énergétiques des cellules, a tendance à s'échapper dans le sang. C'est ce que révèle la mesure des niveaux d'ADNmt chez 14 astronautes avant et juste après leur séjour dans la Station spatiale internationale. Un phénomène probablement dû à la microgravité qui favoriserait l'inflammation et les dommages dans l'ADN. **H. J.**

SOURCE : MALIK BISSERIER, ÉCOLE DE MÉDECINE MOUNT SINAI À NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

Un drone livre des poumons pour une greffe

TRANSPLANTATION Première mondiale : des poumons ont été livrés par drone d'un hôpital à un autre pour y être transplantés avec succès. L'engin volant a parcouru en 6 minutes les 1200 mètres à vol d'oiseau (2,6 km par la route) qui séparent l'hôpital Toronto Western de l'hôpital général de Toronto (Canada). *« Nous avons surtout prouvé que c'est possible de le faire sans danger »*, s'est félicité le Dr Shaf Keshavjee, qui a collaboré avec une équipe technique pendant deux ans pour réaliser ce vol. **H. J.**



JASON VAN BRUGGEN / UNITHER BIOELECTRONIQUE / AFP

Il a fallu 6 minutes à ce drone pour parcourir 1200 mètres à vol d'oiseau d'un hôpital à un autre, à Toronto (Canada).

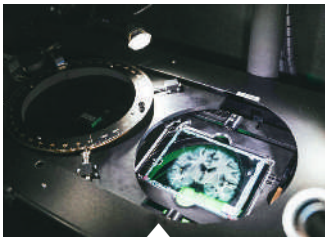
Le surpoids pèse sur le cœur

CARDIOLOGIE Un surpoids ou une obésité durable augmentent significativement le risque de lésions du myocarde dites infracliniques, sans symptôme apparent. Selon une étude norvégienne menée sur près de 10 000 participants, les personnes en surcharge pondérale « stable » présentent un risque accru de 27 % à 70 % de lésions cardiaques par rapport à celles affichant un poids normal. **H. J.**

SOURCE : MAGNUS NAKREM LYNGBAKKEN, HÔPITAL UNIVERSITAIRE AKERSHUS, NORVÈGE.

L'atlas le plus complet des cellules cérébrales

NEUROLOGIE Le plus vaste inventaire des types de cellules composant le cerveau humain a été publié par la revue *Nature* dans une série de 17 articles auxquels ont participé plus de 400 neuroscientifiques dans le monde. Ils décrivent la forme, l'emplacement, les schémas d'activité électrique et les caractéristiques génétiques de 127 types cellulaires. Une vue sans précédent des quelque 160 milliards de cellules qui constituent un cerveau humain. **H. J.**



MAREEN FISCHINGER

Fibres nerveuses d'un cerveau humain étudié au microscope.

www.lesproduitsdumois.com

NOUVEAU VOS ACOUPHENES SONT PRÉSENTS UNIQUEMENT PENDANT LA JOURNÉE ? AUDISTIM JOUR, ENFIN UNE SOLUTION !!!

AUDISTIM JOUR VA VOUS SOULAGER !

Une formule identique à AUDISTIM JOUR/NUIT et scientifiquement prouvée, déclinée sans mélatonine, si vous ne souffrez pas d'acouphènes la nuit et ne rencontrez pas de difficultés d'endormissements ou de sommeil (et/ou si vous êtes déjà sous hypnotiques). Sans colorants, sans dioxyde de titane.

● A découvrir sur www.audistimpharma.com, en pharmacie et au 05 56 69 13 84

BIEN DORMIR AVEC D-STRESS® SOMMEIL

D-Stress® Sommeil est l'association de la **formule D-Stress®, riche en magnésium, et du pavot de Californie** (Eschscholzia californica). Le pavot de Californie est reconnu pour ses **propriétés sédatives** qui vous aideront à retrouver naturellement un sommeil réparateur. Il contribue ainsi à une **amélioration de l'endormissement** et à une **réduction des réveils nocturnes**.

● Sans accoutumance, il agit dès le 1er comprimé. Laboratoire Synergia. En pharmacie, env.14€, boîte 40 cps, ACL 6239626, commandez sur www.synergiashop.com ou au 04 77 42 30 10.

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

Vous arrive-t-il de perdre de vue l'essentiel lorsque vous êtes pressé(e) ? D'avoir des difficultés à vous concentrer ?

Les comprimés naturels Cerveau Clair apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau.

Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour **améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives** (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques. Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.

Cerveau Clair tonifie et revitalise votre cerveau pour vous aider à garder les idées claires !

● Boite de 60 comprimés en pharmacie - Code ACL 2951863
New Nordic vous répond au 01 85 12 12 12 (tarif local) - www.vitalco.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE

Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

ERIC CRUBEZY/CNRS PHOTOTHÈQUE

Ce fossile d'équidé mis au jour à Alaas Ebé, au nord-est de la Russie, fait partie des 273 chevaux anciens d'Eurasie dont le génome a été séquencé.

L'origine des chevaux domestiques établie

La plus grande analyse d'ADN ancien jamais menée sur des équidés montre quand et comment le deuxième meilleur ami de l'humain a été domestiqué il y a 4200 ans dans les steppes d'Eurasie.

C'est une étude qui fera date, autant par ses résultats que par son ampleur inédite. Grâce à l'analyse du génome de 273 chevaux anciens ayant vécu sur tout le continent eurasiatique au cours des 50 000 dernières années avant notre ère, une équipe internationale de 162 paléogénéticiens (spécialistes de l'ADN ancien), archéologues et linguistes a mis un point final au vieux débat de l'origine géographique et temporelle des chevaux domestiques modernes. Cette histoire débute il y a environ 4200 ans dans les steppes occidentales de l'Eurasie, au nord du Caucase, entre mer Noire et mer Caspienne. Le profil génétique des chevaux de cette région se serait ensuite répandu comme une traînée de poudre. Autour de 2200 à 2000 ans avant notre ère, on le retrouve en Bohème (Europe centrale), en Anatolie (Turquie) ou encore en Asie centrale, avant qu'il ne remplace toutes les populations locales d'équidés, de l'Atlantique à la Mongolie, entre 1500 et 1000 ans avant notre ère.

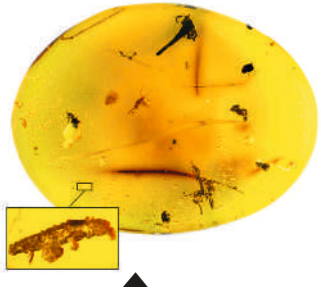
Un dos robuste et une bonne endurance

Cet essor serait dû aux variants de deux gènes, présents dans le génome de ces chevaux mais pas dans celui des lignées qu'ils ont supplantées. « *Le premier gène est impliqué dans l'anatomie dorsale et dans l'expérience de marche. Des études, chez l'humain, ont montré que ses variants augmentent ou réduisent le risque de développer, par exemple, un mal de dos chronique,* détaille le Français Ludovic Orlando, responsable de l'équipe qui a mené l'étude. *Nous avons émis l'hypothèse qu'il en était de même chez le cheval et que le variant que nous avons identifié donnait un dos robuste et une bonne endurance.* » Le second gène, lui, est associé, chez la souris, à la réponse agressivité/docilité dans le comportement. Les chercheurs ont donc supposé que le variant porté par l'ancêtre de nos chevaux domestiques modernes augmentait sa docilité. ■ **V. G.**

Un tardigrade de 16 millions d'années

PALÉONTOLOGIE Des biologistes ont découvert un fossile de tardigrade piégé dans l'ambre depuis 16 millions d'années. C'est le troisième retrouvé, mais le premier datant du cénozoïque, notre ère géologique débutée il y a 66 millions d'années. Connu pour prospérer dans les environnements extrêmes, cet organisme est apparu sur Terre il y a plus de 500 millions d'années. La découverte rarissime permettra de mieux comprendre l'évolution de ces êtres super-résistants. **M. B.**

SOURCE : MARC MAPALO, MUSÉE AMÉRICAIN D'HISTOIRE NATURELLE, ÉTATS-UNIS.



PHILLIP BARDEN, HARVARD/NJIT

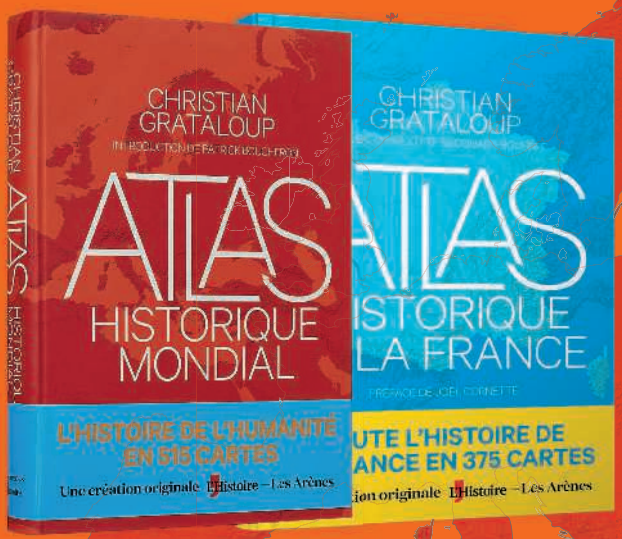
Le fossile de tardigrade (à gauche) piégé dans l'ambre fait moins d'un millimètre de longueur.

Bière et fromage au menu à l'âge du bronze

ARCHÉOLOGIE Il y a 2700 ans, l'être humain savait déjà fabriquer de la bière et du fromage persillé dont font partie les bleus ou le roquefort. C'est ce que révèle l'analyse fine de paléofèces — des excréments fossilisés — découvertes en Autriche dans les mines de sel souterraines de Hallstatt. **H. R.**

SOURCE : FRANK MAIXNER, UNIVERSITÉ LIBRE DE BOLZANO, ITALIE.

« ENFIN DES ATLAS HISTORIQUES POUR LES LECTEURS D'AUJOURD'HUI. »
LE MONDE



OFFERT CHEZ VOTRE LIBRAIRE !*
ATLAS HISTORIQUE - LE JEU

« UN JEU DE CARTES AMUSANT ET CONVIVIAL POUR APPRENDRE L'HISTOIRE AUTREMENT ! »
CHRISTIAN GRATALOUP

1 feutre
1 plateau
120 cartes
200 questions

***POUR TOUT ACHAT D'UN ATLAS.**
OFFRE VALABLE EN LIBRAIRIE UNIQUEMENT ET DANS LA LIMITE DES STOCKS DISPONIBLES.

L'Histoire Les Arènes

Un fantôme hante cette tablette

Dissimulée sur une tablette d'argile babylonienne de -3500 ans, cette représentation de fantôme n'est visible que sous un certain angle.

Oubliée dans les réserves du British Museum de Londres (Royaume-Uni), elle aura patienté plus d'une centaine d'années avant que quelqu'un ne la remarque. Une tablette d'argile babylonienne datant de -3500 ans vient d'être identifiée comme le support de la plus vieille représentation de fantôme jamais répertoriée. Sur l'une de ses faces, on y distingue la silhouette d'un homme barbu, les poings liés, se faisant guider par une femme, sans doute vers l'au-delà, selon Irving Finkel, assyriologue et conservateur au British Museum, à l'origine de la découverte. Un dessin qui n'est visible que lorsqu'il est vu d'en haut et sous une lumière directe.

Le fragment appartenait originellement à un ensemble formant un guide à destination d'un exorciste : à l'arrière, ont été déchiffrées des instructions sur la conduite à adopter en cas de harcèlement par un fantôme. Pour Irving Finkel, il ne fait pas de doute qu'il s'agit d'un *« objet antique absolument spectaculaire »*. **M. B.**

J. FRASER AND C. COBB FOR THE FIRST GHOSTS, BY IRVING FINKEL. THE BRITISH MUSEUM

Le dessin, qui fait partie d'un guide pour exorciste, montre un homme les poings liés guidé par une femme.

UNIVERSITY OF ABERDEEN

À VOIR SUR LE NET

Reconstitution 3D d'un fort picte

MODÉLISATION. Des Pictes, tribus guerrières du nord de l'Écosse qui ne ployèrent jamais le genou face aux Romains, il ne subsiste à ce jour que peu de vestiges. Mais le fort de Burghead, plus vaste complexe connu, vient de faire l'objet d'une reconstitution 3D permettant d'éclairer d'un nouveau jour l'histoire de ce peuple barbare. **M. B.**

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

Un tsunami a bien balayé la Crète à l'âge du bronze

PALÉOENVIRONNEMENT L'analyse de nouvelles carottes de sédiments montre qu'un tsunami a bien été engendré par l'éruption du volcan de Santorin au cours de l'âge du bronze, au XVIe siècle avant notre ère. Il a provoqué une inondation de plus de 500 m à l'intérieur des terres de la Crète, sur une côte qui abritait de nombreux sites minoens. **H. J.**

SOURCE : LAURENT LESPEZ, LABORATOIRE DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE CNRS, FRANCE.

PARABON NANOLABS

Les visages ont été reconstitués numériquement par phénotypage.

3 momies retrouvent leur visage grâce à l'ADN

ÉGYPTOLOGIE Une entreprise américaine de génétique médico-légale, Parabon NanoLabs, a dévoilé la reconstitution numérique des visages de trois hommes ayant vécu en Égypte entre 1380 avant J.-C. et 425 après J.-C. Les tissus, suffisamment bien conservés, ont permis de réaliser les premiers séquençages génétiques obtenus à partir de momies et réaliser un phénotypage ADN reconstituant les aspects de l'apparence physique. **M. B.**

Deux skis de 1300 ans font la paire

ARCHÉOLOGIE En 2014, des archéologues avaient mis au jour un ski en bois vieux de 1300 ans sur le mont Digervarden, dans le sud de la Norvège. L'autre ski, parfaitement conservé, vient d'être exhumé. Des sangles en cuir et des fixations en écorce de bouleau permettaient de caler le pied des skieurs de l'époque. À ce jour, l'utilisation des plus anciens skis connus daterait de 6000 ans avant notre ère en Russie. **B. A.**

L'épée d'un croisé retrouvée en Méditerranée

JACK GUEZ / AFP

L'arme de plus d'un mètre de long serait vieille de 900 ans.

ARCHÉOLOGIE Plongeur amateur, Shlomi Katzin n'en revient toujours pas ! Alors qu'il explorait les fonds marins au large du mont Carmel (Israël), il a mis la main sur une impressionnante épée recouverte de coquillages et d'organismes marins. De nombreuses batailles ayant eu lieu dans les parages au moment des Croisades (1095-1270), cette épée de plus d'un mètre de long, probable propriété d'un chevalier croisé, a pu tomber à l'eau. En cours de restauration, l'arme devrait être prochainement exposée. **B. A.**

1021 L'année où les Vikings colonisaient l'Amérique

ARCHÉOLOGIE Depuis la découverte en 1960 d'une colonie viking au Vinland (Terre-Neuve), on sait que ce peuple avait atteint l'Amérique bien avant Christophe Colomb. L'étude des cernes d'arbres coupés par les marins sur le site révèle les traces d'un événement cosmique survenu en 993 et enregistré sous forme d'un pic de radiocarbone dans ces bois. Elle atteste d'une présence précoce en 1021. **B. A.**

SOURCE : MARGOT KUITEMS, UNIVERSITÉ DE GRONINGEN, PAYS-BAS.

Ce scorpion géant peuplait les mers

PALÉONTOLOGIE *Terropterus xiushanensis* sillonnait la mer qui recouvrait une partie de la Chine il y a 435 millions d'années. Il appartient à l'ordre des euryptérides, des arthropodes célèbres pour leurs dimensions géantes. Ainsi, cet animal dont le fossile vient d'être découvert atteignait près d'un mètre de longueur. Il était équipé d'une paire de pinces munies d'épines qui lui servaient à capturer des proies. **J. I.**

SOURCE : HAN WANG, UNIVERSITÉ DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE PÉKIN, CHINE.

YANG DINGHUA

« Terropterus xiushanensis » vivait il y a 435 millions d'années dans les mers de ce qui est aujourd'hui la Chine (illustration).

STEPHANO UNTERTHINER / WILDLIFE PHOTOGRAPHER OF THE YEAR 2021 - SIPA - CENTRE HOSPITALIER DE BLIGNY

www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche*
au quotidien

TRIBUNE

Cosmologie et théologie « new-look »

En réponse à la publication à forte couverture médiatique de *Dieu, la science, les preuves*, de Michel-Yves Bolloré et Olivier Bonnassies, deux astrophysiciens, Michel Cassé et Joe Silk publient une tribune pour s'élever de façon poétique autant que caustique contre le « concordisme », mélange des magistères théologique et cosmologique. À lire sur le site de *La Recherche*. https://bit.ly/3CZu320

NASA

ENVIRONNEMENT

Le bilan de la COP26 sur les changements climatiques

Déforestation, émissions de CO_2, réchauffement de la planète... Notre envoyé spécial à la COP26 de Glasgow (Écosse) Loïc Chauveau a décrypté les points saillants de cette 26e conférence mondiale pour le climat qui s'est achevée le 12 novembre. Retrouvez ses articles sur notre site. sciav.fr/COP26

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Les plus belles photos du concours Wildlife

Retrouvez les plus belles photos récompensées par le prestigieux concours annuel Wildlife Photographer of the Year consacré à la vie sauvage. sciav.fr/viesauvage

5 minutes

Étonnantes momies chinoises

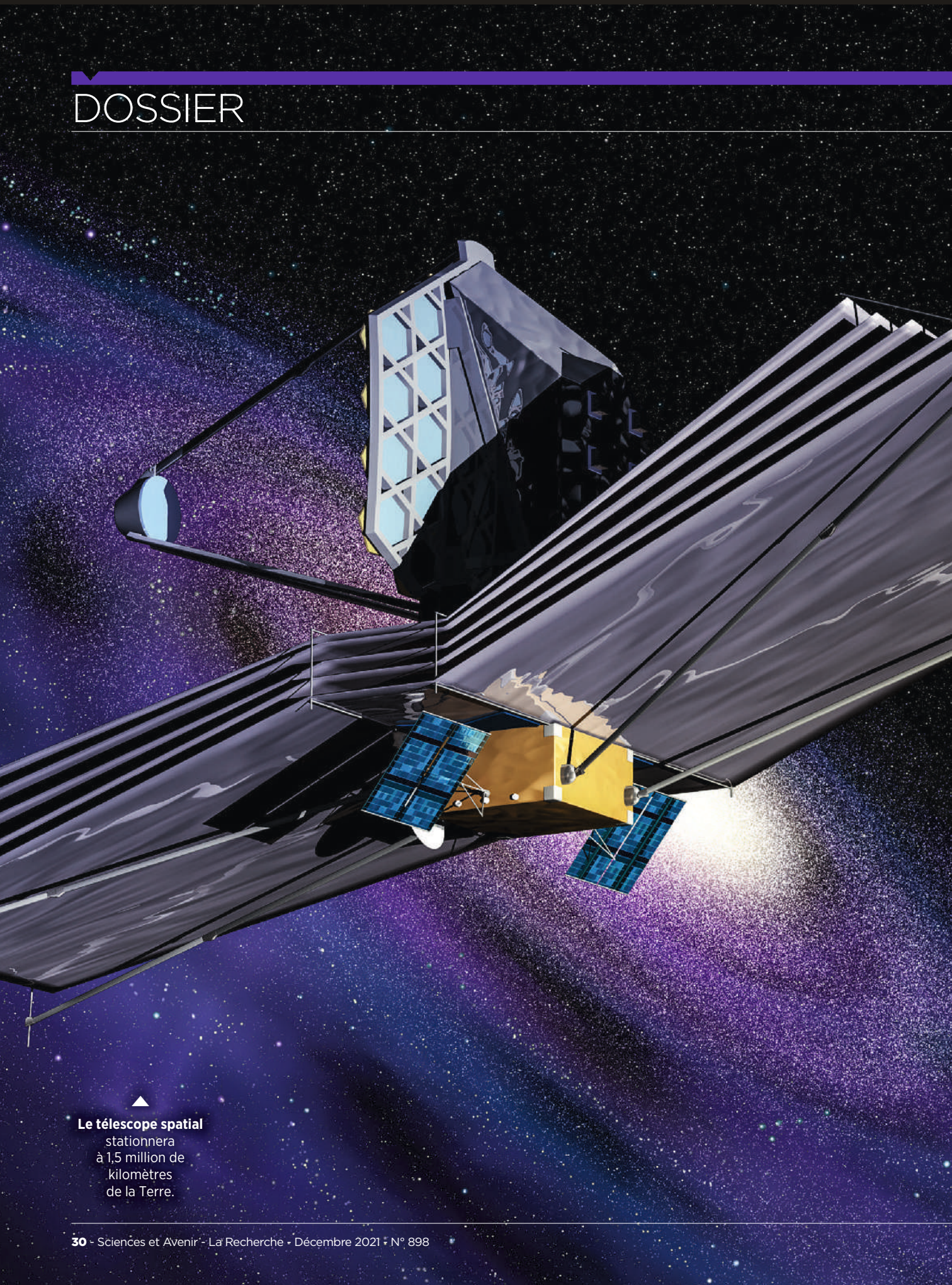
L'étude génomique des momies de l'âge du bronze découvertes dans le bassin du Tarim, en Chine, révèle l'origine de ces extraordinaires vestiges millénaires. sciav.fr/momietarim

10 minutes

Dans le dernier sanatorium de France

Reportage à Bligny (Essonne) dans le dernier sanatorium de l'Hexagone où 250 patients tuberculeux sont pris en charge chaque année pour de longues hospitalisations. sciav.fr/tuberculose

Vous êtes plus de 2 millions à nous suivre sur Facebook



Le télescope spatial stationnera à 1,5 million de kilomètres de la Terre.

Lancement du télescope spatial James-Webb

Révolution dans l'astronomie

Dossier réalisé par
Franck Daninos
et Fabrice Nicot

Traquer les premiers astres de l'Univers, approfondir l'analyse des exoplanètes, observer les objets les plus lointains du Système solaire… Le plus gros télescope spatial jamais conçu permettra de voir ce qui était invisible jusqu'à présent. Après trente ans de conception et de réalisation, la moisson de découvertes va enfin commencer.

JAMES WEBB SPACE TELESCOPE VUE D'ARTISTE

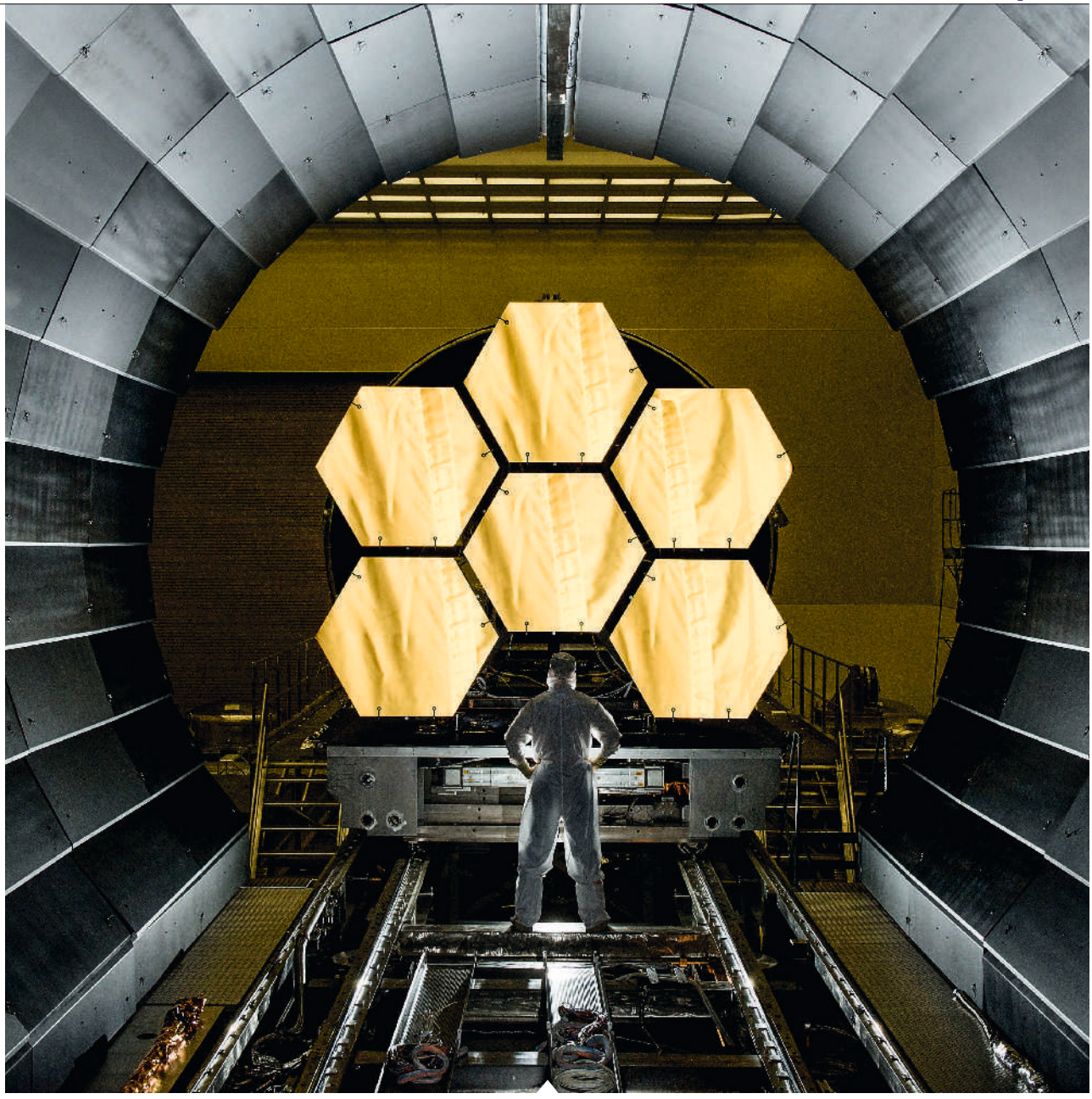
Le télescope de tous les défis

Une fusée Ariane 5 devrait s'envoler le 18 décembre de Kourou avec à son bord le télescope spatial James-Webb, l'engin d'observation le plus ambitieux jamais construit. Retour sur la saga de sa conception qui aura nécessité trente ans de développement.

Trois décennies de développements et de tests en laboratoire, des milliers de scientifiques et d'ingénieurs impliqués, une enveloppe globale flirtant avec les 10 milliards de dollars… C'est peu dire que d'exceptionnelles ressources auront été nécessaires pour concevoir le télescope spatial James-Webb (JWST selon l'acronyme anglais), qui n'est rien moins que le plus gros et le plus puissant engin d'observation jamais envoyé dans l'espace. Après de nombreux reports et des années de retard sur le calendrier — le lancement était initialement prévu en… 2008! —, tous les voyants sont enfin au vert: en cette fin 2021, ce « monstre » de 22 mètres d'envergure (aussi grand qu'un terrain de tennis) échafaudé par la Nasa, l'agence spatiale américaine, avec la collaboration des agences spatiales européenne (ESA) et canadienne (ESC), va enfin être envoyé dans l'espace. Il a quitté fin septembre les installations de l'équipementier américain Northrop Grumman, en Californie (États-Unis), où d'ultimes opérations de contrôle ont été effectuées. Emmailloté dans un conteneur de 30 mètres de long et acheminé par voie maritime, il a longé les côtes du Mexique et transité par le canal de Panama avant de rejoindre le Centre spatial guyanais le 12 octobre. Les équipes de l'ESA et d'Arianespace s'affairent, depuis lors, à intégrer l'imposante mais délicate machine sous la coiffe d'un lanceur Ariane 5. Si tout se passe comme prévu, elle s'envolera le 18 décembre de Kourou pour rallier sa « place de parking » : une région de l'espace située à 1,5 million de kilomètres de notre planète, soit quatre fois la distance Terre-Lune. *« L'émotion est immense à l'approche de la date fatidique, aboutissement de tant d'efforts et d'années de recherches,* confie Pierre-Olivier Lagage, astrophysicien au CEA, à Orsay (Essonne), qui supervise l'un des appareils de détection du JWST. *Mais c'est surtout une prodigieuse aventure scientifique qui commence. Car ce télescope va ouvrir une fenêtre inédite sur l'Univers : ses prémices et les différentes phases de son évolution comme ses objets les plus intrigants. Grâce à cette*

Deux télescopes à la loupe

	Hubble	James-Webb
	HUBBLE	JWST
Distance avec la Terre	570 kilomètres	1,5 million de km
Surface du miroir principal	4 m²	25 m²
Lumière et longueurs d'onde captées	Ultraviolet, lumière visible et proche infrarouge	De l'orange à l'infrarouge moyen
Coût total (en dollars)	1,5 milliard	9,7 milliards



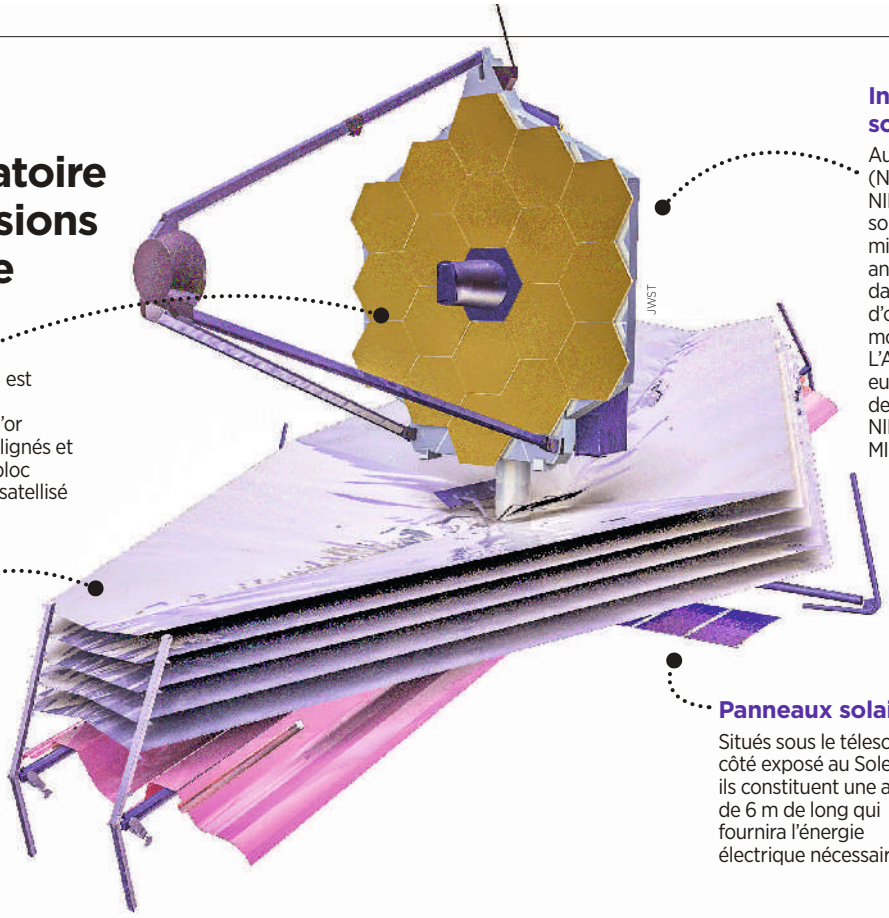
DAVID HIGGINBOTHAM/JWT

Le miroir principal du télescope, dont une partie est testée ici, est recouvert d'or, métal qui réfléchit très bien la lumière infrarouge.

machine révolutionnaire, les connaissances en astronomie feront d'ici peu un bond en avant. »

Les réflexions qui conduiront à la fabrication du JWST ont été amorcées dès 1989 par la Nasa, soit même un an avant le lancement du télescope spatial Hubble. À l'époque, il s'agissait déjà, pour les astronomes, d'identifier les grandes problématiques face auxquelles ce dernier ne pourrait que buter. L'une des plus importantes concernait la fin des « âges sombres » de l'Univers et l'allumage des premières étoiles *(lire p. 38)*, conduisant elles-mêmes à la structuration des premières galaxies. Ces étapes fondamentales seraient intervenues au cours des premières centaines de millions d'années qui ont suivi le Big Bang il y a 13,8 milliards d'années. Mais en raison de l'expansion de l'Univers, la lumière des étoiles primordiales a été progressivement décalée vers l'infrarouge *(lire p. 40)* — une gamme de rayonnements invisibles par l'œil humain dont les longueurs d'onde sont supérieures à 0,7 micromètre. *« Or,*

Un observatoire aux dimensions hors norme



Miroir principal

D'un diamètre de 6,5 m, il est composé de 18 panneaux hexagonaux recouverts d'or qui seront parfaitement alignés et ne formeront qu'un seul bloc lorsque le télescope sera satellisé dans l'espace.

Pare-soleil

C'est grâce à cette structure composée de cinq couches de polymères métallisés que le télescope pourra se prémunir des sources de chaleur environnantes et des rayonnements parasites.

Instruments scientifiques

Au nombre de quatre (NIRCam, NIRISS, NIRSpec et MIRI), ils sont situés derrière le miroir principal et analysent la lumière dans les longueurs d'onde du proche et moyen infrarouge. L'Agence spatiale européenne a fourni deux d'entre eux : NIRSpec et 50 % de MIRI.

Panneaux solaires

Situés sous le télescope, côté exposé au Soleil, ils constituent une aile fixe de 6 m de long qui fournira l'énergie électrique nécessaire.

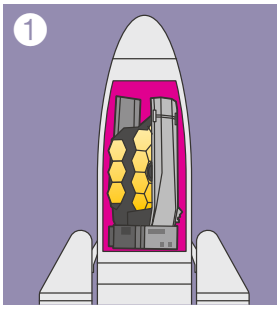
la majeure partie de ces rayonnements est absorbée par l'atmosphère de notre planète, ses molécules d'eau en particulier, ce qui limite très fortement les observations au sol », relève Pierre-Olivier Lagage. Le vénérable Hubble — qui est toujours en activité et aura permis des découvertes capitales sur l'âge de l'Univers, la diversité des galaxies ou encore la structure des trous noirs — n'en détecte lui-même qu'une petite fraction. Car même si cet observatoire orbite à 570 kilomètres de la Terre, il a été optimisé pour scruter l'Univers dans les longueurs d'onde de la lumière visible et ultraviolette (entre 0,1 et 0,7 micromètre). D'où la nécessité, pour remonter le temps, voir plus loin que Hubble et contempler la naissance des premières étoiles et galaxies, de fabriquer un télescope spatial spécialement adapté aux observations infrarouges.

Celles-ci sont néanmoins difficiles à réaliser et requièrent de lourds dispositifs. « *Tous les corps qui génèrent de la chaleur émettent aussi des rayonnements infrarouges,* explique Pierre-

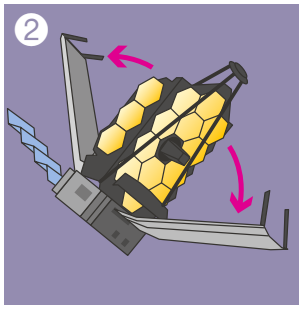
DÉPLOIEMENT

6 opérations clés pour rendre le télescope opérationnel

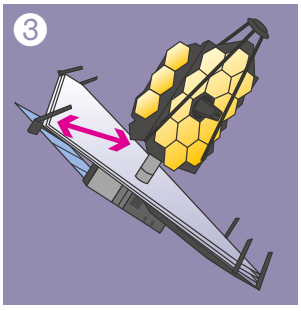
Trop volumineux pour être lancé tel quel dans l'espace, l'observatoire s'envolera en position repliée. Il se déploiera lors de son transit vers le point de Lagrange L2 au terme d'une série d'étapes qui durera 3 semaines.



Sous la coiffe d'Ariane 5, le JWST mesure 10,6 m de haut et 4,5 m de large.



Ouverture des deux éléments protégeant le pare-soleil.



Déploiement latéral du pare-soleil qui atteint 22 m d'envergure.

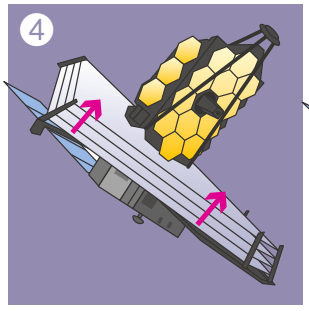
Olivier Lagage. *À commencer par le Soleil et la Terre, qui pourraient aveugler le télescope. Mais, aussi, l'observatoire lui-même ! Il doit donc être refroidi à très basse température, sans quoi il observerait ses propres émissions infrarouges.* » C'est pour cette raison que le futur observatoire spatial — dénommé d'abord New Generation Space Telescope avant d'être rebaptisé en 2002 James-Webb Space Telescope *(lire l'encadré ci-contre)* — sera satellisé à 1,5 million de kilomètres autour d'une zone que les astronomes appellent « point de Lagrange L2 ». Le principal avantage de cet emplacement est qu'il est situé en permanence dans l'axe Soleil-Terre, de l'autre côté de celle-ci *(lire l'encadré p. 36)*. Les sources de chaleur et de rayonnements parasites viendront donc toujours d'une seule direction. Le JWST pourra ainsi s'en prémunir en s'abritant derrière un gigantesque « parasol », tout en examinant l'Univers dans la direction opposée.

Un super-réfrigérateur pour détecter l'infrarouge moyen

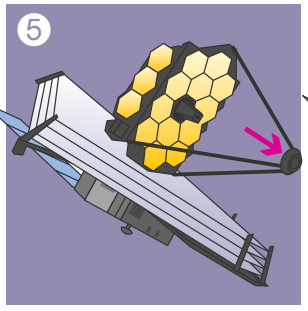
En forme de losange, ce bouclier thermique présente une surface protectrice de 150 mètres carrés. *« Il est constitué de cinq couches de polymères métallisés qui réfléchiront les rayonnements extérieurs et seront séparées par du vide conduisant très peu la chaleur. Elles se comporteront un peu comme des couvertures de survie qui maintiendront la machine dans le noir et le froid de l'espace »*, détaille Pierre-Olivier Lagage. Côté Soleil, la température du parasol s'élèvera ainsi à 85 °C… mais chutera à -233 °C à l'autre extrémité ! Grâce à ce système de refroidissement passif, trois des quatre instruments opérant dans le proche infrarouge (jusqu'à 5,3 micromètres) pourront parfaitement fonctionner : la caméra NIRCam (Near-InfraRed Camera) fournie par l'université de l'Arizona (États-Unis) ; l'imageur NIRISS (Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph) fabriqué au Canada ; et le spectromètre NIRSpec (Near-InfraRed Sprectrometer) développé par l'ESA.

Mais le quatrième instrument, MIRI (Mid InfraRed Instrument), exige encore un système de refroidissement additionnel. Fabriqué par la Nasa et l'ESA ainsi qu'un consortium d'instituts européens (notamment le CEA, l'observatoire de Paris et le Laboratoire d'astrophysique de Marseille), il est le seul qui inspectera l'Univers dans l'infrarouge moyen, jusqu'à 28 micromètres. *« Plus on souhaite détecter des rayonnements de grandes longueurs d'onde, plus il faut refroidir l'appareil »*, indique Pierre-Olivier Lagage, coresponsable de MIRI. L'instrument sera ainsi équipé d'une sorte de « super-réfrigérateur » : un dispositif utilisant des fluides cryogéniques, d'un mètre cube environ, qui abaissera la température à -264 °C, soit seulement 7 °C au-dessus du zéro absolu !

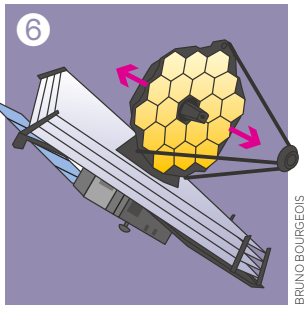
La partie optique du JWST a constitué un autre défi technologique majeur. *« Les lueurs émises par les étoiles primitives sont si faibles qu'elles nécessitent une très grande surface de collecte »*, souligne Pierre Ferruit, responsable ▸



Tension et séparation des 5 couches d'isolation du pare-soleil.



Déploiement de la structure de support du miroir secondaire.



Les deux ailes du miroir principal se déplient.

BRUNO BOURGEOIS

NASA

James Webb, un nom qui fait polémique

NASA ARCHIVE/DOMAINE PUBLIC

Le 30 septembre dernier, après des mois d'interrogations et de polémiques, l'administrateur de la Nasa Bill Nelson a fini par trancher : *« Nous n'avons trouvé aucune preuve qui justifie pour le moment de changer le nom du télescope spatial James-Webb. »* C'est au début des années 2000 que le projet avait été ainsi nommé. Il s'agissait de rendre hommage à l'Américain James Webb (décédé en 1992, *photo ci-dessus*), qui occupa différentes fonctions politiques et administratives jusqu'en 1953 avant de diriger la Nasa entre 1961 et 1968. Il joua alors un rôle essentiel dans le succès du programme lunaire Apollo tout en maintenant une forte activité scientifique. Mais au printemps dernier, plus d'un millier d'astronomes ont signé une pétition appelant à renommer le futur télescope. En cause, les persécutions homophobes — mises en œuvre par le gouvernement américain au tournant des années 1950 — auxquelles James Webb aurait participé. La Nasa a ouvert aussitôt une enquête, faisant intervenir des archivistes et historiens. Mais selon l'agence, qui souhaite clore l'affaire, aucune preuve significative n'a pu être identifiée.

scientifique du JWST pour l'ESA. Le miroir principal du télescope (il possède aussi un miroir secondaire, plus petit, qui concentre la lumière du premier) mesure 6,5 mètres de diamètre, contre 2,4 mètres pour Hubble. *« Un tel gabarit permettra de capter un maximum de photons infrarouges et d'obtenir une très bonne résolution spatiale, donc des images d'excellente qualité »*, se réjouit l'astronome. Ce miroir est formé de 18 éléments hexagonaux composés eux-mêmes de béryllium et recouverts d'or, métal qui réfléchit très bien la lumière infrarouge. Même si la surface totale avoisine les 25 mètres carrés, les pellicules d'or sont très fines et correspondent dans leur ensemble à une balle de golf. *« Semblable à un tournesol géant, cette structure dorée et alvéolée est devenue la signature du JWST,* constate Pierre Ferruit. *Elle permettra surtout au futur télescope d'être de 10 à 100 fois plus performant que tout ce qui existe dans le domaine de la détection infrarouge. »*

Au millimètre près sous la coiffe d'Ariane 5

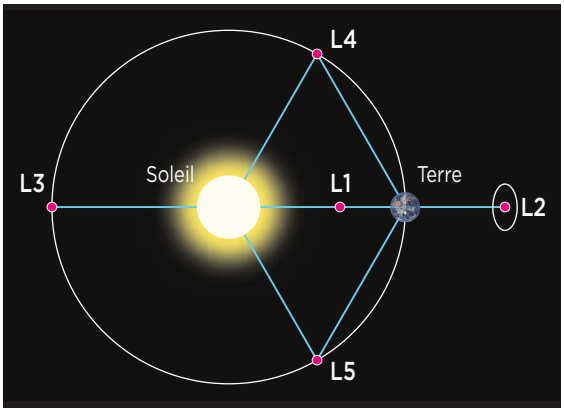
Grâce à cet œil surpuissant, et outre l'éclat des astres primordiaux, le « Webb » pourra observer ce qui se trame derrière les épais nuages de poussières et de gaz qui donnent naissance aux étoiles. Il auscultera aussi les processus de formation planétaire, découvrira une pléiade d'objets aussi lointains que peu lumineux. Le JWST pourra même analyser l'atmosphère des exoplanètes (planètes extrasolaires), en y détectant peut-être des bio-signatures comme des molécules d'ozone *(lire p. 39)*.

Les mécanismes de déploiement, inédits par leur ampleur, auront nécessité une multitude de tests

Dernier défi : trouver un moyen de propulser le JWST dans l'espace. En effet, aucun lanceur n'est assez spacieux pour accueillir un tel mastodonte. Aussi, la Nasa a confié son lancement à l'une des plus grandes fusées en service : l'européenne Ariane 5. *« Elle a été choisie à la fois pour sa très grande coiffe et son excellente fiabilité »*, confirme Daniel de Chambure, responsable de l'exploitation et l'adaptation des missions de l'ESA avec Ariane 5. Mais même dans ses soutes, le JWST devra être lancé plié tel un origami géant, en trois parties pour le miroir. Recroquevillé de la sorte, le télescope atteint les capacités maximales du lanceur. *« Nous avons utilisé, pour la première fois, un ensemble de lasers permettant de positionner la coiffe avec une précision inférieure au millimètre,* explique Daniel de Chambure. *Et d'éviter ainsi le moindre contact avec le télescope. »* Les opérations de préparation pour le lancement à Kourou prendront 55 jours, deux fois plus que pour les satellites ordinaires. *« Nous les anticipons et les affinons depuis plus de dix ans »,* fait remarquer l'ingénieur.

Aucun dépannage humain ne sera possible

Les mécanismes de repliement et de déploiement, inédits par leur nombre et leur ampleur, auront nécessité eux aussi une multitude de travaux et de tests. Sans compter les essais concernant les optiques, le dispositif cryogénique ou les appareils de détection. Ils ont été soumis à d'intenses vibrations afin d'éprouver leur résistance au décollage, expérimentés dans d'immenses chambres à vide reproduisant les conditions dans l'espace. Cette complexité explique, en grande partie, les péripéties et ajournements successifs du JWST pendant plus de dix ans. *« Il s'agit toutefois d'un projet hors norme dont les composantes ont toutes été testées avec une rigueur exemplaire, une infinie minutie »*, justifie Pierre Ferruit. Car une fois que ce concentré de technologie sera satellisé à 1,5 million de kilomètres,



BRUNO BOURGEOIS

STATIONNEMENT

Le point de Lagrange L2, un endroit idéal pour observer l'espace lointain

Le JWST sera satellisé autour du point de Lagrange L2, situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre. À cet endroit, l'attraction gravitationnelle du Soleil et de notre planète s'équilibre avec la force centrifuge d'un troisième corps de masse négligeable telle une sonde spatiale. Celle-ci accompagne alors le mouvement de la Terre dans sa course autour de notre étoile. Dans le système Soleil-Terre, cinq positions présentent de telles propriétés *(schéma ci-contre)*, comme le mathématicien Joseph-Louis Lagrange l'a démontré au XVIIIe siècle. Mais seul le point « L2 » se situe de l'autre côté de la Terre par rapport au Soleil. Le JWST sera ainsi protégé des dards de notre étoile et pourra observer l'espace lointain.

LUCIE LEBOULLEUX CHERCHEUSE À L'INSTITUT DE PLANÉTOLOGIE ET D'ASTROPHYSIQUE DE GRENOBLE

« Cette machine révolutionnaire va combler d'importantes lacunes »

“Le télescope spatial James-Webb est une machine unique et révolutionnaire qui marquera l'histoire de l'astronomie. Grâce à son miroir segmenté et ses dimensions hors norme, il comblera d'importantes lacunes laissées par les autres télescopes spatiaux. Il verra plus loin que Hubble, qui produit des images exceptionnelles mais ne détecte aucune lumière au-delà du très proche infrarouge. Et il observera des détails beaucoup plus fins que Spitzer (à la retraite depuis 2020), qui percevait les rayonnements infrarouges jusqu'à 100 micromètres mais avec une très faible résolution. Le miroir de ce télescope de la Nasa ne mesurait il est vrai que 85 cm de diamètre contre 6,5 m pour le JWST. Nous découvrirons ainsi, grâce à celui-ci, des choses à la fois inédites et très bien détaillées… un peu comme une personne myope qui chausserait des lunettes! Mais le prochain grand observatoire spatial de la Nasa, prévu pour la fin des années 2030, est déjà en préparation depuis une demi-douzaine d'années. Quatre projets sont en lice: Lynx (X-Ray Surveyor), OST (Origins Space Telescope), HabEx (Habitable Exoplanet Imager) et LUVOIR (Large UV/Optical/Infrared). Ce dernier, l'un des plus ambitieux, est une sorte de « super-JWST ». LUVOIR serait lui aussi segmenté et propulsé jusqu'au point de Lagrange L2… mais il pèserait plus de 30 tonnes et son miroir mesurerait 15 m de large. Son principal objectif: la détection directe d'exoplanètes semblables à la Terre et d'éventuels signes de vie.” ■ **Propos recueillis par F. D.**

PABLO CHIGNARD/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

aucun dépannage ne sera *a priori* possible. Aucun astronaute ne pourra se rendre sur place et intervenir, contrairement à Hubble qui a été réparé une demi-douzaine de fois.

Après le décollage d'Ariane 5, il faudra attendre 27 minutes pour que le JWST se sépare des derniers éléments de la fusée à 1500 kilomètres d'altitude. *« Le télescope commencera alors son transit, qui durera environ quatre semaines, vers le point de Lagrange L2,* précise Daniel de Chambure. *C'est au cours de ce voyage que la machine se déploiera peu à peu. »* Telle une chrysalide se muant progressivement en papillon, elle dépliera d'abord ses panneaux solaires ainsi que ses antennes afin de disposer d'une source d'énergie électrique et communiquer avec le centre de contrôle de Baltimore (États-Unis). Puis les cinq couches du bouclier thermique seront déroulées et séparées les unes des autres. Le miroir secondaire se positionnera ensuite face au miroir principal, avant que les « ailes » latérales de celui-ci se déplient et soient verrouillées. *« Cette succession d'étapes, qui fera intervenir près de 200 mécanismes, promet quelques nuits stressantes… et un très long suspense! »* augure Pierre-Olivier Lagage. Sans compter qu'il faudra attendre encore quatre à cinq mois, une fois que l'engin sera mis en orbite, pour que le télescope et ses instruments soient pleinement opérationnels. Ainsi, les premières observations du ciel ne débuteront pas avant juin ou juillet 2022. *« Mais les attentes, énormes, sont à la hauteur des enjeux scientifiques,* s'enflamme Pierre Ferruit. *Le JWST dégage en effet un immense espace de découvertes, dans tous les domaines de l'astrophysique, qui devraient être plus déterminantes encore que ce que Hubble a produit. »* ■ **F. D.** @fdaninos

CHRIS GUNN/NASA

Une maquette grandeur nature du télescope James-Webb avait été exposée à Austin (Texas) en 2013.

Les 4 observations les plus attendues

Les galaxies lointaines et les exoplanètes figurent en tête des projets en cumulant plus de 50 % du temps d'observation attribué par la Nasa. Mais le Système solaire ne sera pas oublié… Revue de détail de ce que pourrait révéler le télescope spatial James-Webb.

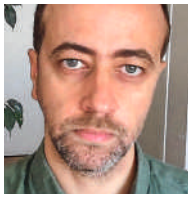
Les premiers astres de l'Univers

Le télescope spatial James-Webb (JWST, selon l'acronyme anglais) est une formidable machine à explorer l'espace, mais aussi le temps. Son miroir de 6,50 mètres de diamètre offre une sensibilité et une résolution spatiale lui permettant de voir très loin, et de saisir ainsi la lumière émise par des astres des milliards d'années plus tôt. De quoi projeter les astrophysiciens dans les premiers âges de l'Univers. Plus tôt encore que la galaxie GN-z11, la plus lointaine jamais observée, révélée par Hubble et qui s'est formée il y a 400 millions d'années après le Big Bang *(lire* S. et A. *n°891, mai 2021)*. *« GN-z11 fera partie des premières cibles du JWST,* note Hakim Atek, chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris, et membre de l'équipe Origine et évolution des galaxies. *Mais nous comptons remonter plus loin, de 200 millions d'années au moins, à la recherche de l'origine même des galaxies… Nous ignorons quand elles sont apparues précisément, et à quoi elles ressemblaient, mais l'on s'attend à ce que les protogalaxies soient de petites tailles. Contrairement à GN-z11 ! La masse de la Voie lactée est de l'ordre de cent milliards de fois celle du Soleil. Hubble peut en détecter de l'ordre de dix millions de fois. Le JWST descendra, lui, à un million de fois la masse de notre étoile. Enfin, en collectionnant des portraits de galaxies pris à différentes époques, nous espérons reconstituer leur évolution, et comprendre comment un amas d'étoiles informe comme GN-z11 finit par donner de magnifiques galaxies spirales comme Andromède ou la Voie lactée. »*

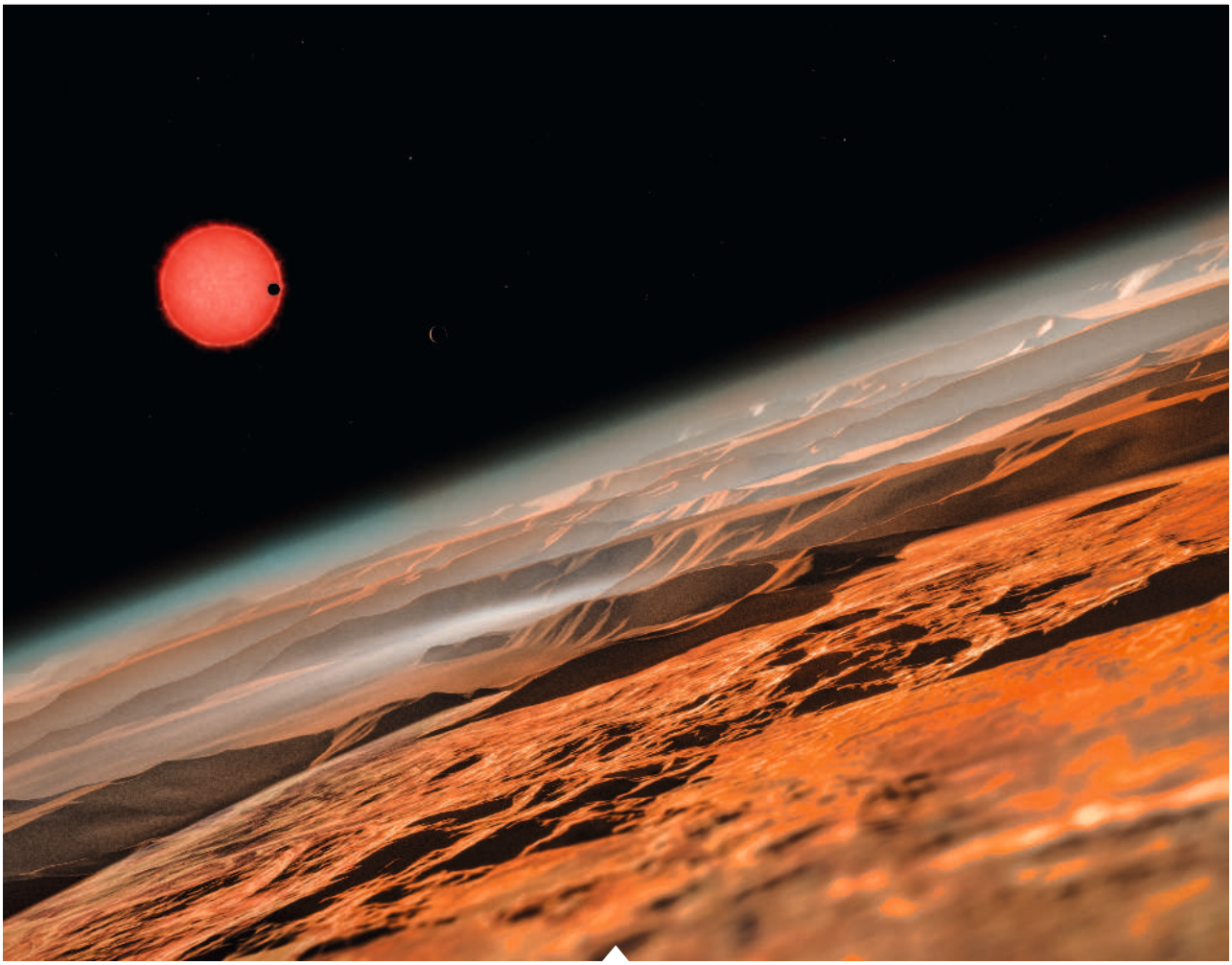
Avec ses caméras NIRCam et MIRI, le télescope déterminera la forme de ces premiers rassemblements d'étoiles ainsi que leur luminosité, traduisant la formation active de nouveaux astres. Le spectrographe NIRSpec, quant à lui, établira leur composition chimique. Il traquera notamment la trace des toutes premières étoiles de l'Univers, dites de population III. Cent à mille fois plus massives que le Soleil, et bien plus brillantes, elles se sont formées à partir des premiers atomes, hydrogène et hélium, forgés lors du Big Bang. Brûlant la chandelle par les deux bouts, elles n'auraient vécu que quelques millions d'années avant d'exploser en supernovae, si l'on en croit les simulations numériques puisqu'elles n'ont encore jamais été observées. Mais ce n'est peut-être qu'une question de temps pour Hakim Atek : *« En traquant les raies d'émissions caractéristiques de l'hydrogène et de l'hélium, nous n'excluons pas de trouver une signature de ces mythiques premières étoiles, même si elles ont disparu très tôt dans l'histoire de l'Univers. »*

200
millions d'années après le Big Bang
Le JWST verra l'Univers quasiment à l'époque où les premiers astres sont apparus.

Le télescope cherchera également la trace de trous noirs supermassifs, de plusieurs milliards de fois la masse du Soleil. Ces astres nichés au cœur des galaxies accélèrent la matière qui leur tourne autour avant de l'avaler. Cette accélération la fait rayonner dans de multiples longueurs d'onde, trans-


HAKIM ATEK

« Nous n'excluons pas de trouver une signature des mythiques premières étoiles de l'Univers »
Hakim Atek, chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris



ESO/M. KORNMESSER

Le JWST consacrera 25 heures à l'observation de Trappist-1b, l'une des sept exoplanètes en orbite autour de la petite étoile Trappist-1 (ici en rouge, vue d'artiste).

formant les trous noirs en sortes de « phares » visibles de très loin. Le JWST regardera au-delà du plus lointain trou noir observé jusqu'ici, situé à 12,4 milliards d'années-lumière.

Recenser les trous noirs et les galaxies aura aussi pour objectif de déterminer la contribution de chacun à la « réionisation », une étape cruciale dans la jeunesse de notre univers. En effet, lorsqu'il émet sa première lumière, 380 000 ans après le Big Bang, l'Univers est plongé dans une sorte de brouillard composé d'atomes d'hydrogène et d'hélium. C'est l'âge sombre. Il va s'éclaircir sous l'action de rayons ultraviolets émis par les premières étoiles et les premiers trous noirs. En arrachant des électrons aux atomes, ces rayonnements vont ioniser le gaz interstellaire. Or les ions, contrairement aux atomes, ne bloquent pas la lumière. C'est ainsi que le brouillard des âges sombres s'est déchiré… Mais à quelle époque précisément ? À quelle vitesse ? Quelle est la contribution précise des trous noirs (on l'estime aujourd'hui à 5 %) et des premières étoiles ? Au sens propre comme au figuré, le JWST devrait faire la lumière sur ces questions.

L'atmosphère des exoplanètes

Vingt-six ans après la découverte de la première exoplanète, le compteur frôle les 5000. Leur diversité, comme leur nombre, semble sans limite… Mais la plupart du temps, les seules informations dont on dispose avec certitude sont leur masse, leur rayon, et la distance qui les sépare de leur étoile. Tout le reste est conjectures. D'où la nécessité d'aller y voir de plus près. *« Pour la première fois, nous allons commencer à avoir une vision en trois dimensions de*

INSTRUMENT

Pourquoi observer dans l'infrarouge ?

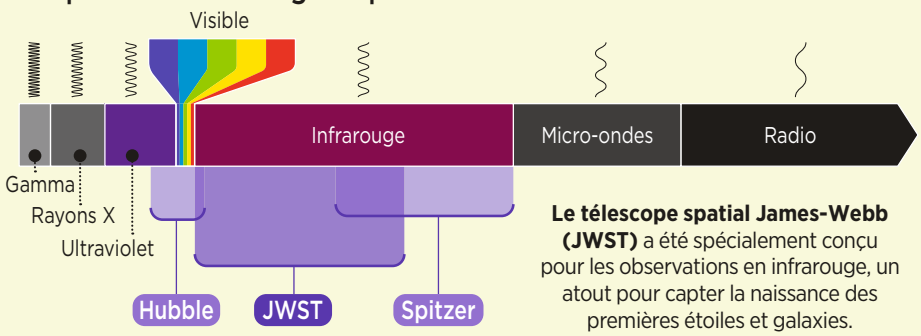
Comme son nom l'indique, l'infrarouge (IR) se trouve « en dessous » de la couleur rouge, sur le plan de la fréquence ou de l'énergie. Invisible pour nos yeux, nous le percevons malgré tout : c'est la chaleur. Les concepteurs du JWST en ont fait le champ d'exploration principal du télescope, contrairement à Hubble cantonné au visible et au très proche IR. L'intérêt d'observer l'Univers dans cette partie du spectre est triple.

1 Cela permet de voir des astres qui brillent très peu, des planètes en formation par exemple, ou des naines brunes, car tout corps émet un peu de chaleur en comparaison du froid de l'espace.

2 Contrairement à la lumière visible, la lumière infrarouge se faufile entre les particules de poussière, révélant la présence d'astres cachés derrière cette poussière, comme une étoile ou des planètes en formation dans un nuage protoplanétaire.

3 L'IR correspond à la couleur des astres des débuts de l'Univers, même si, à l'origine, leur lumière est émise dans l'ultraviolet, ou le visible. Cela vient du fait que l'Univers est en expansion, depuis sa naissance. La lumière des premières galaxies parvenue jusqu'à nous a donc subi une importante dilatation. Cela se traduit par un étirement de sa longueur d'onde, la faisant passer dans le domaine de l'IR.

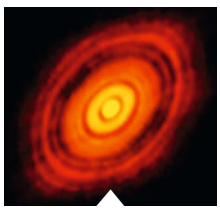
Le spectre électromagnétique



Le télescope spatial James-Webb (JWST) a été spécialement conçu pour les observations en infrarouge, un atout pour capter la naissance des premières étoiles et galaxies.

BRUNO BOURGEOIS

l'atmosphère d'exoplanètes géantes. Ce sera possible grâce à la grande couverture en longueurs d'onde des instruments, et notamment de la caméra infrarouge MIRI, explique Pierre-Olivier Lagage, astrophysicien au CEA (Saclay, Essonne) et coresponsable de MIRI. *Elle observera les exoplanètes dans l'infrarouge moyen, une gamme jusqu'ici peu utilisée sur ce type d'astres. Or, en regardant dans ce domaine du spectre, nous sonderons la présence de nombreuses molécules (méthane, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, ammoniac, eau…) dans des couches atmosphériques différentes de celles sondées à plus courtes longueurs d'onde. Nous allons aussi pouvoir déterminer la composition des nuages.* » De telles détections seront obtenues grâce à la méthode dite des transits. Lorsque la planète passe devant son étoile, les molécules de l'atmosphère bloquent une partie de la lumière de l'astre, ce qui révèle leur présence. Les longueurs d'onde pour lesquelles la lumière est absorbée constituent en effet une signature propre à chaque type de gaz. Mais l'instrument sera aussi capable de voir la lumière émise par l'atmosphère des exoplanètes, porteuse d'autres informations plus passionnantes encore. Un exemple. *« En observant la variation de cette émission lorsqu'une exoplanète orbite de façon synchrone* [lui présentant toujours la même face] *autour de son étoile, nous pourrons repérer où se situe le point chaud longitudinal. Cet endroit, le plus chaud de la planète, correspond au point le plus proche de l'étoile. Si nous constatons qu'il se déplace, cela traduira la présence de vent.* » Non seulement les astrophysiciens verront l'atmosphère en 3D, mais en plus, ils la verront donc s'animer…



Les systèmes planétaires en formation seront observés avec plus de précision.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Mieux encore : MIRI permettra d'analyser l'atmosphère d'exoplanètes de type « Terre » ou « super-Terre » (jusqu'à dix fois la masse de la Terre). Jusqu'à présent, seules les atmosphères de quelques géantes gazeuses ont pu être étudiées. En accédant à des planètes potentielle-

ment habitables, l'enjeu sera tout autre car la question du vivant se posera inévitablement… Peut-on espérer trouver des preuves d'une vie extraterrestre dans le cocktail de gaz formant ces atmosphères ? *« Quoi que l'on trouve, cela prendra du temps avant de conclure à une origine biologique,* tempère Pierre-Olivier Lagage. *Car il faudra d'abord prouver qu'aucun processus inerte ne peut être à l'origine de ce cocktail.* » Toutefois, la recherche de vie extraterrestre devrait bel et bien progresser grâce au JWST. *« Mieux nous comprendrons la chimie et la physique de ces atmosphères variées, plus nous serons capables de repérer des anomalies dans leur composition, nous mettant sur la piste du vivant.* »

La naissance des planètes

Les quasi 800 systèmes à planètes multiples recensés par L'Encyclopédie des planètes extrasolaires témoignent d'une grande diversité en matière de taille et de position des planètes par rapport à leur étoile. Notre système solaire, avec ses planètes telluriques proches du Soleil et ses géantes gazeuses fermant la marche, est loin d'être la norme. Comment relier la forme et la composition du disque protoplanétaire à la disposition finale des planètes ? Cette question sera l'un des grands enjeux du JWST. Pour y répondre, le télescope utilisera un principe assez fascinant puisqu'il s'agira, en quelque sorte, d'assister à la naissance de systèmes solaires.

D'ores et déjà, l'interféromètre ALMA ou l'instrument SPHERE du Very Large Télescope (VLT), tous situés dans le désert de l'Atacama au Chili, ont permis d'observer de vastes disques de gaz et de poussières au sein desquels se forment une étoile puis son cortège de planètes. Ces observations, encore rares, devraient beaucoup progresser. *« Le JWST, et notamment l'instrument MIRI, couvrira une gamme de longueurs d'onde complémentaire à celle couverte par ALMA et VLT, avec une sensibilité inégalée »*, précise Pierre-Olivier Lagage. Par ailleurs, en observant dans l'infrarouge, il sera sensible aux poussières (silicates, argiles, carbonates…) et glaces qui constituent la matière première de ces pouponnières d'étoiles et de planètes. Il fournira ainsi la composition chimique de ces disques, en plus de leur structure.

Les confins du Système solaire

S'il est taillé pour voir loin, le JWST ne sera pas pour autant presbyte. Capable d'observer aussi « de près », il complétera le travail des nombreuses sondes expédiées dans le Système solaire auprès de Mars, Jupiter, Saturne… Avec un net avantage sur elles : sa sensibilité. Sur Mars, cela permettra par exemple d'observer la partie de la planète dans la nuit, ou dans la pénombre de l'aurore ou du crépuscule. *« Pour l'instant, nous ne savons pas bien comment se comporte la vapeur d'eau lorsque la nuit arrive : condensation au sol ou nuages ?* s'interroge Thierry Fouchet, astronome à l'observatoire de Paris et impliqué dans un programme d'observation du Système solaire. *Avec le JWST, nous allons pouvoir le faire, et chercher aussi d'autres gaz très peu abondants liés à la chimie de l'oxygène : CO, O_2, O_3…* »

Autre atout du télescope : la capacité d'observer les objets dans la durée, au moins cinq ans, et sans doute dix. *« Nous enregistrerons ainsi le cycle des saisons sur Titan* [satellite de Saturne visité par la sonde Huygens en 2005], détaille Thierry Fouchet. *Près de Jupiter, nous étudierons les éruptions volcaniques du satellite Io, ou encore l'atmosphère de Ganymède, seul satellite avec Titan à en posséder une. Ganymède figure aussi dans les objectifs de JUNO* [lire *S. et A.* n° 892, juin 2021], *mais la résolution spectrale du JWST nous permettra d'avoir accès à un plus grand nombre de molécules.* »

Malgré cette exploration planétaire, son activité se concentrera sur les confins du Système solaire, beaucoup moins éblouissants pour cet instrument avant tout taillé pour observer des objets faiblement lumineux. *« Le James-Webb va s'intéresser aux petits corps glacés du Système solaire, comme les astéroïdes, les comètes* [il cherchera la trace d'Hale-Bopp, passée spectaculairement près de la Terre en 1997], *et jusqu'à la ceinture de Kuiper, où se trouve Pluton. Cette région du Système solaire reste mal connue, malgré la sonde New Horizons qui l'explore depuis 2015. Elle est constituée de milliards de petits corps glacés qui étaient déjà là lorsque les planètes du Système solaire se sont formées, il y a 4,5 milliards d'années. Le JWST nous livrera leur composition : des glaces d'eau, de CO_2, d'ammoniac… En découvrant plus en détail ces petits astres sombres, nous accéderons directement aux briques élémentaires à partir desquelles les planètes, dont la Terre, ont été forgées.* » ■ **F. N.** @ fnicot07

GALAXIES LOINTAINES

L'espoir de nouvelles surprises

Impossibles à prévoir, les surprises seront de fait très attendues, comme l'explique Hakim Atek, chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris, prenant exemple sur Hubble : *« L'une de ses plus grandes découvertes est la multitude des galaxies très lointaines. À l'époque, en 1995, les astrophysiciens avaient décidé de braquer l'instrument sur une zone du ciel vide en apparence, et d'attendre. Ils n'ont pas été déçus en apercevant sur l'image des centaines de galaxies lointaines, donc très peu lumineuses, d'une grande variété ! Cela a révolutionné toute l'étude des galaxies, et suscité bon nombre des missions que le JWST va effectuer. Et c'est encore dans le domaine des galaxies lointaines que nous espérons des surprises, sur leur âge ou leur composition. »*

ILLUSTRATION ET MONTAGE NADIA RHABI POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE. PHOTO GETTY IMAGES

Sous forme d'avatar, l'utilisateur n'est plus seulement spectateur mais participe activement et de manière immersive à un environnement virtuel toujours dynamique.

Métavers

Le fantasme d'un monde virtuel parallèle

Facebook, Microsoft ou encore le studio de jeux vidéo Epic Games ont annoncé vouloir développer des métavers, des univers virtuels très élaborés, évoluant indépendamment de chaque utilisateur. Mais dont le contour exact reste à imaginer.

Par Arnaud Devillard @A_Devila

Le terme est devenu à la mode en l'espace d'un été, à l'occasion d'une interview de Mark Zuckerberg sur le site d'actualité technologique *The Verge*. Le 22 juillet, le P-DG et fondateur de Facebook (devenu depuis Meta) y expliquait que pour le réseau social, la prochaine étape était de construire un « métavers », un espace numérique d'un genre nouveau : sous forme d'avatars, les utilisateurs ne seraient pas que spectateurs d'une immersion, mais participants actifs. Ils pourraient y danser ou assister à des concerts, comme faire leurs exercices de *fitness*… Deuxième déclaration choc mi-octobre : Facebook annonçait la création de 10 000 emplois en Europe pour développer cet environnement. En parallèle, l'entreprise promettait de créer un fonds de 50 millions de dollars sur deux ans pour aider d'autres acteurs à bâtir un métavers « responsable » et financer des organismes de recherche.

Mark Zuckerberg voit grand : *« On peut se figurer le métavers comme une version incarnée d'Internet, où vous ne faites pas que consulter un contenu : vous êtes dedans »*, résume-t-il. La particularité essentielle du métavers est d'être un espace dit persistant. C'est-à-dire un environnement qui continue d'évoluer même lorsque l'on se déconnecte. Chaque fois que l'utilisateur revient, il prend les choses en cours de route, découvre de nouveaux éléments, de nouvelles activités virtuelles, etc. L'immersion la plus approfondie implique l'usage d'un visiocasque (en l'occurrence le casque de réalité virtuelle Oculus Rift, propriété de Facebook), mais Mark Zuckerberg n'en fait pas un prérequis. Selon lui, le métavers peut être accessible par un smartphone, une tablette ou un écran d'ordinateur.

Une agrégation de divers univers

Le réseau social ne constituerait toutefois qu'une partie du métavers. Celui-ci serait en réalité une agrégation de divers univers virtuels (d'où le préfixe « méta ») existants et rendus interopérables. Et il n'est pas le seul à partager cette vision. D'autres ▸

compagnies ont annoncé des initiatives semblables. À commencer par le studio de jeux vidéo Epic Games, dont le P-DG, Tim Sweeney, plaide pour un « métavers ouvert » qui ne serait contrôlé par aucune entreprise en particulier. On pourrait y jouer à Fortnite (édité par Epic Games) en mode multijoueur avant de visionner une série sur Netflix. Une vision encore plus ambitieuse dont le développement a d'ores et déjà permis une levée de fonds de… un milliard de dollars (840 millions d'euros).

Une économie parallèle en construction

Le plus grand éditeur de systèmes d'exploitation au monde, Microsoft, n'entend pas non plus rater le coche. Il a lui aussi décrit cette année son projet « applications métavers » : des « répliques numériques » d'environnements réels (bâtiments, usines, chantiers) pour y faire des simulations et du contrôle. Une ambition d'attaquer le marché des professionnels que partage également le fabricant de processeurs graphiques Nvidia. Et les premiers projets voient le jour. Le producteur américain de bière Anheuser-Busch a ainsi modélisé la chaîne logistique de ses brasseries avec les outils de Microsoft, et BMW une chaîne de montage avec ceux de Nvidia *(lire l'encadré p. 45)*. De son côté, Facebook a ouvert Horizon Workrooms : des salles de réunion accessibles dans un Oculus Rift grâce à une application sur le site d'Oculus.

Une économie parallèle est même en train de se mettre en place dans ces modes virtuels. Pour preuve : dans Decentraland, un monde en 3D virtuel créé en 2015, accessible sur écran ou par un casque VR, il est possible d'acheter des terrains avec des monnaies virtuelles ou des transactions passant par la *blockchain*. En France, l'équipe du festival Laval Virtual (Mayenne) a fondé la société Komodal qui fournit du conseil en création et gestion de mondes virtuels.

Cet engouement reflète de véritables avancées technologiques (casques, *cloud*, intelligence artificielle, interfaces cerveau-machine) sans lesquelles le développement du métavers ne serait pas possible. Et ce n'est qu'un début. *« La prochaine étape, qui arrivera rapidement, consistera à faire appel à l'intelligence artificielle pour peupler ces mondes*, envisage le fondateur du festival Laval Virtual, Laurent Chrétien. *Des avatars continueront de vivre quand l'utilisateur sera déconnecté, d'autres se verront affecter des fonctions précises. »* Par exemple de simples « figurants » numériques (à l'instar des personnages non joueurs des jeux vidéo) ou des agents conversationnels.

Toutes ces initiatives ne sont pas sans rappeler Second Life, créé par la société américaine Linden Lab en 2003. Ce monde virtuel avait en son temps défrayé la chronique avant de tomber dans l'oubli (sans toutefois disparaître). Le métavers connaîtra-t-il le même destin ? Trop tôt pour le dire ; le futur du métavers est difficile à imaginer. D'autant que sa définition même diffère d'un interlocuteur à l'autre. Le terme, qui remonte à un roman de science-fiction des années 1990 *(lire l'encadré ci-dessous)*, permet donc de faire des interprétations variées des annonces récentes. Le chercheur honoraire en sciences de l'information François-Gabriel Roussel, auteur de plusieurs essais sur le sujet, insiste cependant sur la notion de « persistance », qui n'existe pas encore aujourd'hui : *« Les réunions dans un environnement virtuel, à l'instar des visioconférences Zoom ou Skype, ne sont que des outils. Une fois la réunion terminée son environnement n'existe plus. »* De son côté, Laurent Chrétien estime que les notions d'immersion, en 3D temps réel, d'avatars et d'interaction ne suffisent pas à résumer le concept. *« Second Life n'était qu'une immersion légère mais n'est pas un métavers : dans ce dernier, on se promène d'un monde à l'autre comme on navigue d'un site à l'autre sur le Web. »* D'ailleurs, dans son acception finale, le métavers pourrait devenir une autre manière d'expérimenter non pas seulement les réseaux sociaux mais Internet en général.

POUR EN SAVOIR PLUS

L'usine virtuelle de BMW à Ratisbonne :
▸ sciav.fr/898bmw

L'entretien avec Anatole Lecuyer de l'Inria :
▸ sciav.fr/898lecuyer

Les interfaces actuelles en attente de nettes améliorations

« J'ai tendance à voir le métavers à la manière d'un bureau d'ordinateur qui permet à la fois de travailler sur Excel, d'aller sur Internet, d'effectuer des achats en ligne, de faire du traitement de texte, etc., estime Anatole Lecuyer, directeur de l'équipe Hybrid à l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria), consacrée à la réalité virtuelle. *Avec le métavers, on va enfiler un casque de réalité virtuelle pour faire plusieurs choses et non plus une seule activité à un moment donné. »* Mais pour l'heure, cette notion soulève surtout des questions. Ou, plutôt, exacerbe celles que suscite déjà la

SCIENCE-FICTION

Aux origines du métavers

Le terme vient du roman de science-fiction *Le Samouraï virtuel*, de l'Américain Neal Stephenson, paru en 1992 (*Snow crash* en anglais). Il désigne le monde virtuel et urbain du livre, organisé autour d'une unique rue de 65 536 km, *« le Broadway, les Champs-Élysées du Métavers »*. Plus récemment, la ville sans nom du film *Matrix* (1999) et l'Oasis du roman *Ready Player One* d'Ernest Cline (2011), et de son adaptation à l'écran par Steven Spielberg, sont des métavers.

INDUSTRIE

D'abord le jumeau numérique d'une usine, celui du monde ensuite

Le P-DG Jensen Huang du fabricant de processeurs graphiques Nvidia n'y va pas par quatre chemins. Il promet ni plus ni moins de transformer le monde entier en un métavers, en en faisant une doublure numérique. C'est en réalité une manière outrancière d'évoquer des jumeaux numériques photoréalistes de sites industriels, architecturaux, etc. Nvidia a présenté en avril la plateforme qui va servir à les construire, Omniverse. Avant d'ouvrir à Ratisbonne (Allemagne) une chaîne de montage de systèmes motopropulseurs pour voitures électriques, BMW a ainsi créé une version numérique de l'usine, fonctionnant sur des données et des contraintes physiques du monde réel. Elle est accessible de partout dans le monde, à tout moment, par tout employé de BMW habilité. L'enjeu ? Tester de nouveaux processus de fabrication, de nouveaux logiciels, faire collaborer les employés et en observer les conséquences, notamment sur les délais de livraison. Les « ratés » ne touchent que le monde simulé et tous les ajustements sont possibles. BMW s'en est aussi servi pour étudier le déplacement des employés sur le site, avec des personnages animés par intelligence artificielle, ou pour évaluer avec des avatars combien de personnes sont nécessaires pour accomplir telle ou telle tâche. ■

NVIDIA

BMW s'est associé à Nvidia pour créer un clone numérique de son usine automobile de Ratisbonne (Allemagne).

réalité virtuelle. En effet, fréquenter un métavers implique d'y passer bien plus de temps que dans les expériences immersives telles qu'on les connaît aujourd'hui. Toutes les questions d'interaction, de navigation, de déplacement, de perception vont nécessiter de nettes améliorations. *« Les interfaces de locomotion sont encore extrêmement sommaires*, note Anatole Lecuyer. *La solution que l'on a trouvée jusque-là consiste à se faire téléporter mais il ne sera pas idéal de se téléporter tout le temps. » Idem* pour des activités aussi simples que saisir un objet et le déplacer. Le contrôle en réalité virtuelle souffre d'un manque d'interfaces génériques, équivalentes au clavier et à la souris de l'ordinateur. Les manipulations un peu malhabiles actuelles peuvent se transformer en vraies frustrations dans un métavers. La perception pose aussi question : comment gérer la cybercinétose (la sensation de malaise due à une désorientation en réalité virtuelle) ou le véritable casse-tête de la simulation du toucher ? Certaines solutions peuvent suffire pour quelques minutes d'immersion, pas forcément pour une ou plusieurs heures.

Le métavers exacerbe les questions déjà soulevées par la réalité virtuelle

Enfin, *« ce type de projet soulève des questions d'appropriation à long terme* [de son avatar] », estime Ludovic Hoyet, chercheur à l'Inria spécialisé dans la perception de l'humain virtuel. En règle générale, le sentiment d'incarnation en réalité virtuelle est très rapide mais très peu d'études ont pu mesurer les effets d'une immersion longue et régulière. *« Ce qui va être intéressant du point de vue de la recherche sera de voir les cas où cela ne fonctionne pas. Est-ce qu'à long terme, le sentiment d'incarnation va évoluer, se dégrader ? Un lien va sans doute se créer avec notre personnage virtuel. C'est le genre de choses qu'il faudra pouvoir quantifier, mesurer. Peut-être qu'il n'y aura pas d'effets. »* Plus qu'un monde virtuel, le métavers s'annonce donc comme un vaste univers inconnu. ■

GEOFFROY MATHIEU/OPALE/LEEMAGE

CARLO ROVELLI
PHYSICIEN THÉORICIEN ET PHILOSOPHE DES SCIENCES

En finir avec les paradoxes de la physique quantique

Dans son nouvel ouvrage « Helgoland », le physicien italien revient sur la naissance de la mécanique quantique et propose sa propre interprétation de cette théorie quasi centenaire.

En 1925, le physicien allemand Werner Heisenberg, 23 ans, s'est isolé sur l'île d'Helgoland, en mer du Nord, pour réfléchir à un problème que lui a soumis le physicien danois Niels Bohr. Comment se comportent les électrons dans un atome ? La réponse va révolutionner la physique, comme le raconte Carlo Rovelli dans son nouvel ouvrage.

S. et A. : La mécanique quantique possède de nombreux pères : Albert Einstein, Paul Dirac, Erwin Schrödinger… Pourquoi avoir choisi d'évoquer Werner Heisenberg ?

Carlo Rovelli : C'est lui qui a eu l'idée clé de la mécanique quantique : décrire un électron dans un atome en fonction de comment il se manifeste à nous. C'est-à-dire par la fréquence et l'intensité de la lumière émise lorsqu'il saute d'une orbite à une autre autour du noyau atomique. Ces données sont naturellement organisées en tables de nombres, avec l'orbite de départ en lignes et l'orbite d'arrivée en colonnes. Werner Heisenberg utilise ces tables à la place des variables habituelles (vitesse, position, orbite). Et ça marche : c'est la mécanique quantique. Un an plus tard, Erwin Schrödinger introduit la notion de fonction d'onde pour décrire le comportement de l'électron de façon visuelle [elle correspond à la probabilité de présence de la particule], mais je pense qu'elle a masqué la signification physique de la mécanique quantique, plutôt que de la clarifier.

La physique quantique apparaît en effet éloignée du sens commun. Dans « Helgoland », vous vous attachez au contraire à montrer comment elle peut décrire la réalité.

L'aspect opaque de la physique quantique vient précisément du fait que l'on a pris l'équation d'Erwin Schrödinger trop au sérieux. Si vous tentez d'expliquer le résultat de certaines expériences avec des fonctions d'ondes, vous parvenez à ces interprétations étranges qui évoquent des univers parallèles, ou bien des chats à la fois morts et vivants selon la célèbre fable de Schrödinger… Je pense que l'on peut les éviter si l'on revient à la vision première de la mécanique quantique, celle de Werner Heisenberg.

Ce retour à la source vous a amené au concept de « mécanique quantique relationnelle ». C'est-à-dire ?

La façon classique de voir le monde revient à considérer qu'il se compose de systèmes : la Terre, un être vivant, une pierre. Ils possèdent certaines propriétés : une position, une vitesse, une forme… Et grâce aux équations de la physique, on peut prévoir l'évolution de ces propriétés. En mécanique quantique, les propriétés ne sont plus interprétées comme relatives à l'objet seul. Elles sont relatives aux autres systèmes avec lesquels l'objet est en interaction.

En quoi cela résout-il certains paradoxes, comme celui du chat de Schrödinger ?

Le chat est enfermé avec un atome radioactif qui a une chance sur deux de se désintégrer. En cas de désintégration,

SPL/SUCRE SALÉ

Dans l'expérience imaginée par Erwin Schrödinger en 1935, un chat est enfermé dans une boîte opaque dotée d'un dispositif pouvant libérer un gaz mortel. Tant que la boîte est close, on ne peut savoir si le chat est en vie ; la mécanique quantique le décrit comme à la fois mort et vivant.

BIO EXPRESS

- **1956 :** Naissance à Vérone, Italie.
- **1987 :** Introduit la gravité quantique à boucle, avec le physicien américain Lee Smolin.
- **1990-2000 :** Professeur de physique à l'université de Pittsburgh, États-Unis.
- **2000-2021 :** Dirige le groupe de recherche en gravité quantique au Centre de physique théorique de l'université d'Aix-Marseille, France.
- **2014 :** Publie *Sept Brèves Leçons de Physique* (Odile Jacob).
- **2019 :** Inclus dans la liste des 100 intellectuels les plus influents du monde par la revue *Foreign Policy*.
- **2021 :** Publie *Helgoland* (Flammarion).

le dispositif ouvre une fiole qui endort le chat [Carlo Rovelli se refuse à tuer un chat même dans une expérience de pensée]. La fonction d'onde indique que le chat enfermé est dans une « superposition quantique », à la fois endormi et réveillé. Je pense qu'il est plus raisonnable de penser que relativement au chat, le poison est forcément relâché ou pas. Donc le chat est endormi ou pas. Il n'y a plus de paradoxe. Mais cela n'implique pas que le chat soit endormi ou pas relativement à un observateur extérieur. Pour celui qui n'interagit ni avec la fiole, ni avec le chat, il y a bien superposition. Les deux choses sont vraies car chacune est relative à des interactions liées à deux observateurs différents : le chat et l'observateur. Les propriétés d'un objet (la fiole) par rapport à un autre (le chat) ne le sont pas nécessairement pour un troisième (vous).

Vous prolongez cette notion d'interactions hors de la physique en insistant, par exemple, sur l'importance de la collaboration plutôt que sur celle de la compétition…

Les intellectuels passent leur temps à réfléchir à des problèmes complexes, pour essayer de dire dessus des choses intelligentes. Dans la mesure du possible, autant que les fruits de leurs réflexions bénéficient au plus grand nombre ! Donc oui, il faut sortir de son pré carré.

Les collaborations interdisciplinaires sont par ailleurs de plus en plus nombreuses. Ce rapprochement n'est finalement qu'un retour aux sources. Albert Einstein a été influencé par Arthur Schopenhauer. Werner Heisenberg s'est inspiré du philosophe des sciences Ernst Mach [1838-1916]. Une partie des travaux d'Emmanuel Kant est une tentative de mettre du sens dans la physique d'Isaac Newton. Ce rapprochement doit s'opérer dès les études. Plus tard on se spécialise et mieux c'est. Avant de faire de la physique, j'ai fait des études de philosophie, de littérature, de grec ancien. Et j'ai beaucoup voyagé. Ma vision de la physique s'est nourrie de cela. Alors, je conseille toujours aux jeunes de faire le tour du monde, et le tour des idées, avant de plonger dans la physique. ■

Propos recueillis par Fabrice Nicot @fnicot07

Continent englouti

Icelandia réécrit l'histoire de la Terre

Des géophysiciens ont découvert un continent dont l'Islande serait la partie émergée. Icelandia s'ajoute à Walvia et Zealandia pour compléter le puzzle de la Pangée, ce supercontinent unique qui existait il y a environ 240 millions d'années. L'histoire de la formation des continents est désormais mieux comprise et certains chercheurs vont même jusqu'à modéliser l'évolution à venir des plaques qui devraient à nouveau se réunir dans un futur lointain.

Par Sylvie Rouat @srouat1

Le froid est déjà mordant en Islande en cette fin de septembre, tandis qu'une équipe de géologues venus du Royaume-Uni, de France, de Norvège, d'Allemagne et des États-Unis arpente ces terres volcaniques rugueuses et nappées d'humidité. Les scientifiques sont à la recherche d'indices minéraux qui leur permettraient de confirmer l'existence d'un continent englouti, une terre d'environ 600 000 km^2 dont l'Islande serait la partie émergée. Baptisée Icelandia, cette plaque continentale submergée pourrait même atteindre une superficie totale d'environ 1 million de kilomètres carrés si les régions à l'ouest du Royaume-Uni en sont bien le prolongement géologique, comme l'envisagent les scientifiques. Cette étonnante hypothèse est détaillée dans un ouvrage de la Société géologique d'Amérique à paraître en janvier 2022*, dont le chapitre consacré à Icelandia a été rendu public en juin dernier. *« Sur le terrain, nous collectons des échantillons de roches dans les racines d'anciens volcans,* explique Laurent Geoffroy, chercheur au Laboratoire géosciences-océan (LGO) de l'université de Bretagne occidentale, à Brest (Finistère), l'un des

INFOGRAPHIES : MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR LA RECHERCHE

DÉFINITION

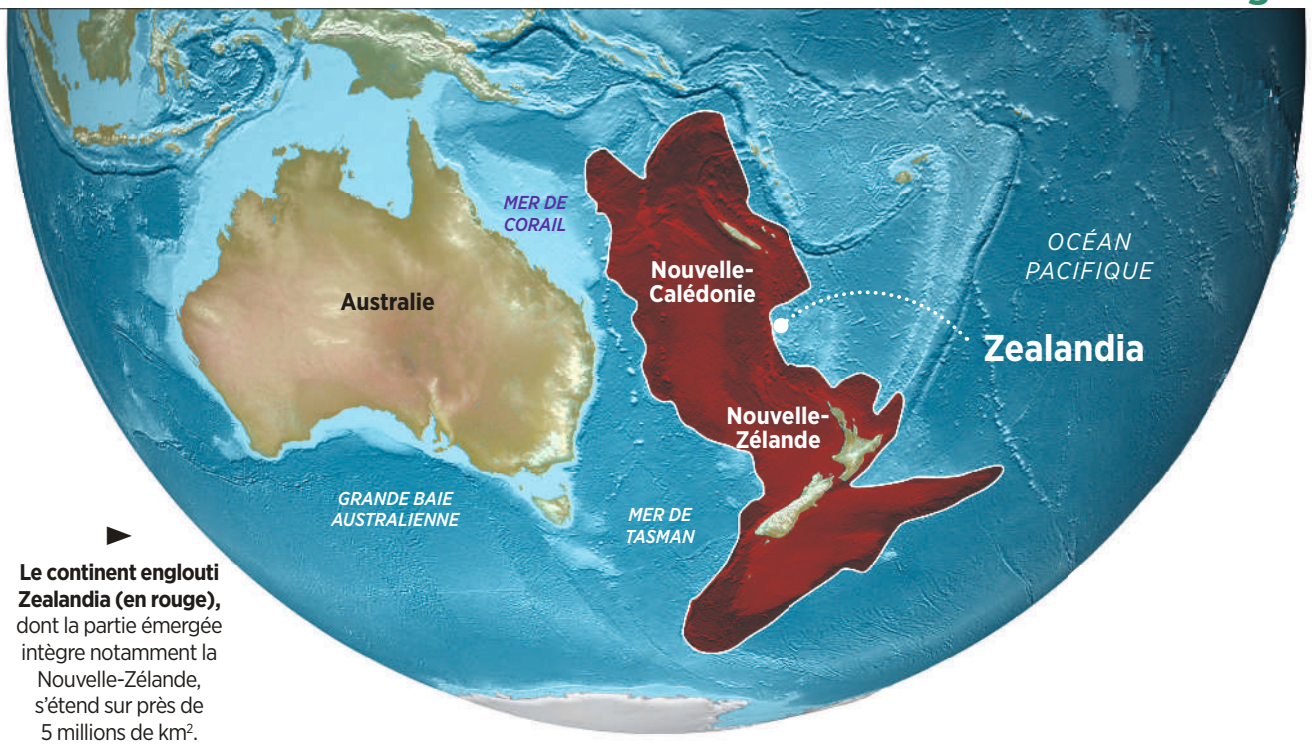
Qu'est-ce qu'un continent ?

D'un point de vue géographique, le terme continent désigne les étendues continues de terres émergées. Une définition qui s'applique mal cependant à l'Océanie, formée de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, de la Nouvelle-Guinée et d'un chapelet d'îles. En 1982, la convention des Nations unies sur le droit de la mer signée à Montego Bay (Jamaïque) a examiné le statut du plateau continental, cette extension de terre sous la mer qui serait un prolongement du continent. Il a été alors octroyé aux États côtiers les droits d'exploitation des ressources de leur plateau, charge à eux d'en démontrer l'existence et les contours. L'espoir d'un nouvel eldorado sous-marin a donné lieu à de nombreuses missions océanographiques pour mieux connaître cet environnement. La question de la définition du mot continent s'est posée à nouveau à la fin des années 1990 avec la découverte d'un bloc continental quasiment submergé, baptisé en 2017 Zealandia. *« Le mot continent est une notion géographique. En géologie, nous parlons plutôt de plaque continentale,* souligne Yann Klinger, géophysicien à l'Institut de physique du globe de Paris. *Celle-ci se définit par une densité moindre que la plaque océanique et une composition plus riche en silices.* »

signataires de l'étude. *L'analyse de leur composition chimique et isotopique doit permettre d'identifier une altération des magmas par du matériel continental.* »
Un schéma simplifié de notre planète départage la croûte continentale — qui forme les continents — et la croûte océanique — qui se déroule de part et d'autre des dorsales. Ces dernières dessinent une chaîne de montagnes sous-marines, où se forme la croûte océanique, un processus continu lié à l'émergence du magma du manteau terrestre *(lire l'encadré p. 53)*. Jusqu'à présent, les géologues décrivaient le nord de l'Atlantique, à l'ouest de nos côtes, comme composé de croûte océanique se formant au rythme de 1 à 2 cm par an, soit la vitesse d'écartement des plaques eurasienne et nord-américaine. Au milieu de cette dorsale s'élève l'Islande. *« Comme si un bout de la dorsale se trouvait à l'air libre,* souligne Laurent Geoffroy. *Cette spécificité était jusqu'à présent expliquée par le fait que le manteau sous l'Islande est particulièrement chaud, ce que l'on appelle un point chaud, qui engendre une production volcanique très active. Mais l'Islande est aussi au milieu d'une formation perpendiculaire à la dorsale médio-atlantique, qui a des caractéristiques continentales en termes de structure et de propriétés physiques des matériaux.* »
L'Islande est en effet reliée au Groenland et aux îles Féroé par une dorsale de 25 à 30 km d'épaisseur. Les parties les plus profondes de cette bande se situent à environ 500 à 600 m sous le niveau de la mer, alors que les bassins océaniques voisins sont à plus de 2000 m de profondeur. L'Islande elle-même repose sur une croûte de plus de 40 km, alors que la croûte océanique dans la région a une épaisseur de 7 km. De plus, *« l'analyse de la composition chimique des roches qui composent ces reliefs sous-marins semble conforter l'hypothèse d'un matériel d'origine continentale à 75 %,* explique Laurent Geoffroy. *En Islande, on trouve également un volume anormal de granites — roches considérées comme continentales. Enfin, la structure supérieure de la croûte est composée de coulées de lave anciennes inclinées vers le centre du système, semblables à ce que l'on observe sur les marges continentales.* »
Ces régions sous-marines bordent en effet les continents et constituent la zone de transition entre les deux types de croûte aux abords des plateaux continentaux. En incluant les microplaques de Jan Mayen en grande partie continentales qui prolongent la dorsale Groenland-Islande-Féroé au nord-est de l'Islande, l'ensemble de la région couvre ainsi quelque 600 000 km^2. *« Cette hypothèse implique que l'Amérique du Nord et l'Eurasie sont reliées par une bande continue de croûte continentale couvrant l'océan Atlantique à 65° N* », écrivent les auteurs de l'étude. Un pont continental longtemps demeuré à l'air libre à l'ouest et à l'est de l'Islande lorsque les océans se sont formés, établissant des connexions entre le Groenland et la Scandinavie. Les chercheurs projettent maintenant d'effectuer des analyses minéralogiques et des forages profonds.

Un pont continental entre l'Amérique du Sud et l'Afrique

D'autres continents engloutis semblent émailler les océans. L'Atlantique Sud baigne ainsi d'étranges formations séparées par la dorsale médio-atlantique : la dorsale de Walvis, qui s'étend sur 3000 km des côtes de la Namibie à la dorsale médio-atlantique, et la ride Rio Grande, au large du Brésil. L'une et l'autre ont une épaisseur anormale de 25 km. Longtemps, leur origine a été expliquée par la combinaison des activités d'un point chaud avec celles de la dorsale médio-océanique, comme en Islande. Mais ces dernières années des expéditions océanographiques brésiliennes ont observé une vaste plaque de granite d'environ 10 mètres de hauteur, à 1500 km des côtes du Brésil, et pré-



Le continent englouti Zealandia (en rouge), dont la partie émergée intègre notamment la Nouvelle-Zélande, s'étend sur près de 5 millions de km².

levé des roches continentales sur la ride Rio Grande. *« Il est possible que celle-ci soit un continent ou un microcontinent englouti,* remarque Natasha Stanton, géophysicienne à l'université d'État de Rio de Janeiro (Brésil). *Géologiquement, le matériel continental trouvé sur la ride Rio Grande peut avoir fait partie du supercontinent Gondwana, lorsque l'Amérique du Sud et l'Afrique étaient un seul continent, il y a plus de 130 millions d'années. Une étude récente montre une affinité des roches continentales trouvées sur la ride Rio Grande avec les terrains africains au regard de leurs datations et des phénomènes géologiques à l'œuvre.* » Ces reliefs sous-marins formeraient ainsi une sorte de pont continental, parfois dénommé Walvia, reliant les plaques de l'Amérique du Sud et de l'Afrique. Pour Gillian Foulger, professeure à l'université de Durham (Royaume-Uni), *« les processus fondamentaux de la tectonique des plaques opèrent dans un environnement complexe, inhomogène et non rigide de la Terre »*. Et les reliefs qui en résultent seraient donc tout aussi complexes et inhomogènes. De fait, *« au moment de la séparation des continents, quand les failles se forment et évoluent en océan, l'ouverture ne se fait pas en un seul endroit et des morceaux de continents se retrouvent au milieu de la croûte océanique »*, explique Laurent Jolivet, professeur à l'Institut des sciences de la Terre de Paris. Pour Laurent Geoffroy, *« le phénomène de séparation entraîne l'extension des continents jusqu'à leur rupture »*. À la manière d'un élastique étiré à l'excès.

LAURENT GEOFFROY Chercheur au Laboratoire géosciences-océan de l'université de Bretagne occidentale

Des conséquences politiques et économiques importantes

« Si l'existence d'Icelandia est avérée, cela pourrait avoir des conséquences politiques et économiques importantes. Les pays ont en effet la possibilité d'exploiter leur plateau continental sous-marin. Or le Groenland et les îles Féroé sont danois et l'Islande indépendant. S'il y a des ressources à exploiter et se partager, cela peut engendrer des conflits. En Arctique, la dorsale Lomonossov, qui relie sur 1800 km les marges continentales sibérienne et canadienne, présenterait également beaucoup de matériel continental. De quoi aiguiser les appétits des Russes qui veulent étendre leur domaine continental vers l'Arctique… Les continents sont surexploités, les minerais et les hydrocarbures commencent à manquer. Les pays côtiers vont se tourner d'ici à cinquante ans vers leur domaine marin, peu profonds et faciles à exploiter. »

LAURENT GEOFFROY

Du sable volcanique vieux de plus d'un milliard d'années

Si l'existence d'Icelandia et de Walvia reste débattue, celle d'une étendue de près de 5 millions de km² — dont la Nouvelle-Zélande est la partie émergée —, est plus largement admise. Baptisée Zealandia en 2017 par une équipe de la société de géosciences de Nouvelle-Zélande, cette anomalie bathymétrique interroge.

Les prélèvements de roches effectués ces dernières années semblaient indiquer un continent étrangement jeune, formé il y a environ 500 millions d'années sur les côtes du supercontinent Gondwana, une immense masse terrestre dont il a commencé à se détacher il y a 160 millions d'années. Mais l'analyse en mai dernier de sables d'origine volcanique du Fiordland et de l'île de Rakiura-Stewart, parue dans la revue *Geology,* fait remonter l'existence de ce pan continental à il y a un milliard d'années. Soit bien avant le morcellement du dernier supercontinent, la Pangée ! À force de résister au recyclage *(lire l'encadré p. 53)*, la croûte continentale est en effet bien plus âgée — près de 4 milliards d'années pour les échantillons les plus anciens — que la croûte océanique, qui ne dépasse pas les 200 millions d'années.

** In the Footsteps of Warren B. Hamilton : New Ideas in Earth Science.*

Retour sur la formation des continents

C'était un temps où les dinosaures régnaient sur la planète : il y a environ 240 millions d'années, tous ces blocs continentaux éparpillés que les géologues recensent aujourd'hui étaient amalgamés en une seule terre : la Pangée. À cette époque, la croûte continentale était vraisemblablement déjà inhomogène, composée de structures et de forces géologiques différentes, ce qui peut expliquer la diversité de destin des blocs après la dislocation complète du supercontinent. Cinq blocs continentaux principaux en ont résulté, selon les géographes : l'Eurasie, l'Afrique, les Amériques, l'Océanie et l'Antarctique. D'autres fragments, plus minces, ont été engloutis par les océans.

Mais la Pangée n'est en réalité que le dernier des supercontinents à l'échelle géologique. *« Il y a plus de 3 milliards d'années, des processus magmatiques qui n'existent plus aujourd'hui* [à ce jour encore inconnus] *ont extrait du manteau des roches plus riches en silice, sodium et potassium,* explique Pierre Thomas, géologue à l'École normale supérieure de Lyon (Rhône). *Ces roches de nature granitique ont une densité de 2,7 kg/dm³ contre 3,3 kg/dm³ (3300 kg/m³) pour la partie supérieure du manteau terrestre.* » Par conséquent, elles flottent au-dessus du manteau, comme du liège sur l'eau, et demeurent également au-dessus du plancher océanique dont la densité est de 2,8 kg/dm³. La croûte continentale se serait mise en place au cours des premières centaines de millions d'années d'existence de la planète (formée il y a 4,5 milliards d'années), comme le montre l'étude publiée en septembre dans *Science Advances* par Marion Garçon, du Laboratoire magmas et volcans (LVM) de l'université Clermont Auvergne, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). La chercheuse a compilé les mesures chimiques de roches sédimentaires formées pour les plus anciennes il y a 3,7 milliards d'années, soit plus de 2500 données recueillies depuis les années 1980. *« Les roches continentales étaient aussi riches en silice il y a 3,7 milliards d'années qu'aujourd'hui,* explique-t-elle. *Ce qui signifie que l'évolution d'une croûte primitive plus proche de la croûte océanique vers une croûte plus riche en silice est très ancienne.* » Ce résultat vient contredire nombre de modèles, qui prévoyaient une transition de composition

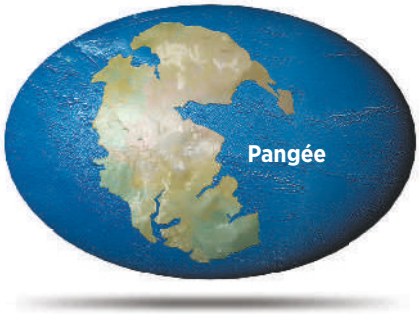
PIERRE THOMAS

« Il y a 3 milliards d'années, des processus qui n'existent plus aujourd'hui ont extrait du manteau les premiers continents »

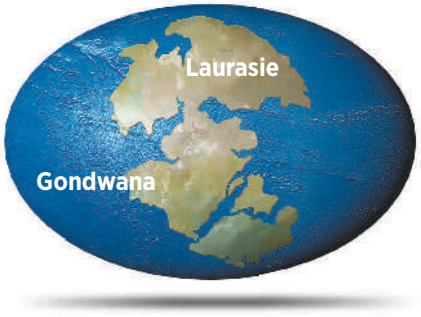
Pierre Thomas, géologue
à l'École normale supérieure de Lyon

De la Pangée aux continents actuels

Il y a 200 millions d'années a commencé la dispersion de la Pangée. D'abord en deux continents : le Gondwana et la Laurasie. Cette dernière s'est ensuite divisée en Eurasie et Amérique du Nord (-65 millions d'années), tandis que le Gondwana a donné naissance aux autres blocs continentaux actuels.



PERMIEN
il y a 255 millions d'années



TRIAS
il y a 200 millions d'années

MÉCANISME

Le moteur de la tectonique des plaques

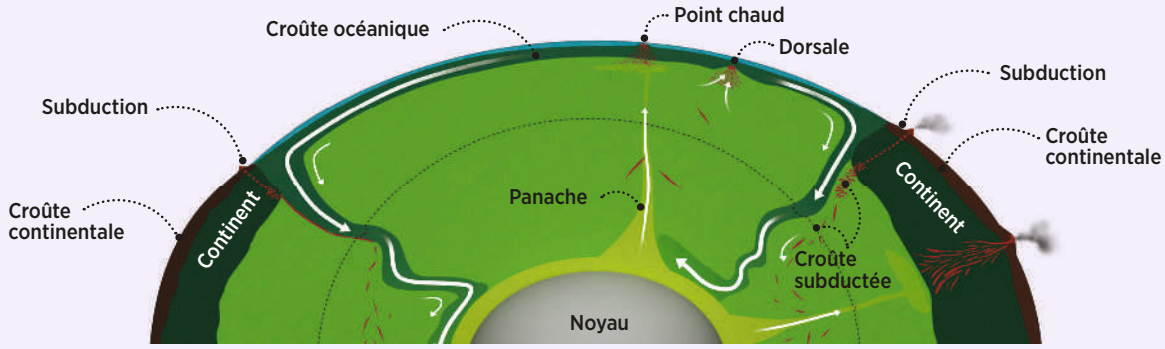


Schéma simplifié de la convection du manteau terrestre, représenté en trois nuances de vert, couleur de la péridotite, la roche qui le compose. Les panaches du manteau donnent naissance à des points chauds.

Proposée en 1912 par l'Allemand Alfred Wegener, la dérive des continents est théorisée en 1944 par le Britannique Arthur Holmes, qu'il attribue à des mouvements de convection dans le manteau terrestre. « *La convection permet d'évacuer la chaleur du manteau, chauffé par la désintégration d'éléments radioactifs,* explique Yann Klinger, de l'Institut de physique du globe de Paris. *Est-ce le moteur de la tectonique des plaques ? Cela favorise en tout cas la remontée du magma dans les dorsales océaniques.* » À sa surface, le manteau plus froid se contracte par rapport à l'intérieur. « *Comme du beurre congelé* versus *du beurre à température ambiante, la croûte terrestre est 1000 fois plus rigide que le manteau,* résume Pierre Thomas, professeur de géologie à l'École normale supérieure de Lyon. *Ce matériau dense a tendance à s'enfoncer dans le manteau dans les zones dites de subduction. Et comme une nappe que l'on tire, toute la croûte océanique est alors entraînée dans le mouvement, créant à l'opposé un vide, la dorsale, qui favorise la remontée du matériau mantellique.* » Les zones de subduction voient donc la croûte océanique plonger sous la croûte continentale, moins dense, qui a tendance à « flotter ». Lorsque la subduction est plus intense que l'activité des dorsales, l'océan se referme et les continents s'affrontent, donnant naissance à des chaînes de montagnes telles que l'Himalaya ou le Caucase.

JURASSIQUE
il y a 150 millions d'années

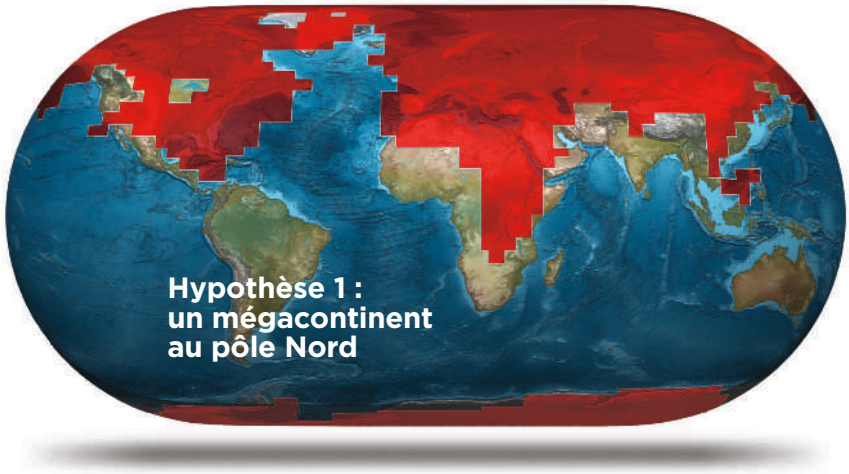
CRÉTACÉ
il y a 65 millions d'années

AUJOURD'HUI

liée à la mise en place de la tectonique des plaques il y a environ 3 milliards d'années.

Cette étude montre également que la croissance de la croûte continentale est non pas un processus continu, mais résulte d'épisodes cycliques, tous les 500 à 700 millions d'années. « *Nous avons pu identifier au moins six épisodes de formation plus importante de celle-ci au cours des 3,7 derniers milliards d'années,* décrit Marion Garçon. *Cela pourrait être dû à des changements de vitesse de la tectonique des plaques, ce qui favoriserait des périodes de subduction rapide s'accompagnant d'une production accrue de croûte riche en silice.* » L'exemple de la cordillère des Andes illustre bien ce phénomène de formation dynamique d'une chaîne de montagnes, par subduction (glissement) d'une plaque océanique sous une plaque continentale.

Ce cycle pourrait correspondre aux périodes de remaniement des blocs continentaux qui finissent par entrer en collision pour former un supercontinent. Un modèle connu sous le nom de « cycle de Wilson » selon lequel il y aurait déjà eu une dizaine de supercontinents à la surface de la Terre. « *Ce sont des constructions transitoires,* explique Pierre Thomas. *La chaleur qui s'accumule sous le supercontinent finit en effet par le faire craquer.* » La Pangée est le dernier épisode de ce cycle. Cette terre émergée unique était loin d'être uniforme. Cerné par de hautes chaînes de montagnes, l'intérieur du continent présentait, selon les études de paléoclimatologie, un climat aride et désertique, ce dont témoigne le peu de fossiles retrouvés dans les régions correspondantes. Les gisements de charbon nord-américains et européens témoignent en revanche de l'existence de forêts et jungles luxuriantes vers l'équateur.



Amasia (contraction d'Amérique et d'Asia) se formerait autour du pôle Nord dans 200 millions d'années par la collision de l'Asie et de l'Amérique du Nord, et la migration vers le nord de l'Australie et de l'Afrique, un mouvement réellement observé aujourd'hui.

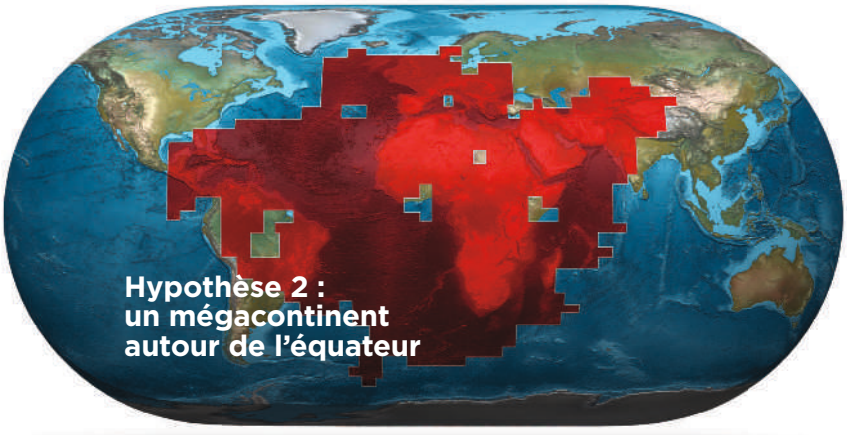
À quand la reformation d'un supercontinent ?

Cette question est l'objet des travaux d'Hannah Davies et Joao Duarte, de l'université de Lisbonne (Portugal), de Matthias Green de l'université de Bangor (Royaume Uni) et de Michael Way, de l'institut Goddard pour les études spatiales de la Nasa, à New York (États-Unis), dont les résultats ont été publiés en juillet dernier dans *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G³)*. Les chercheurs s'accordent sur le fait que nous sommes à mi-chemin entre la dislocation de la Pangée et la naissance d'un nouveau supercontinent. En effet, la croûte océanique en formation permanente repousse les plaques continentales en un ballet géologique qui promet des disparitions et des collisions. « *Si on extrapole ce qui se passe aujourd'hui, l'océan au large de la Mauritanie va entrer en subduction,* présume Pierre Thomas. *Les côtes des Amériques vont venir à la rencontre de celles de l'Europe et de l'Afrique. L'Australie va entrer en collision avec la Chine en écrasant les Philippines et l'Indonésie.* » D'ici 200 à 250 millions d'années, les plaques se retrouveront ainsi réunies quelque part sur la planète. Mais où ? « *Il est difficile de prédire l'avenir,* remarque Laurent Jolivet. *Les convections du manteau qui gouvernent le ballet des continents sont instables, chaotiques, comme le sont les convections de l'eau qui bout dans une casserole.* » Quatre scénarios ont été modélisés par le passé, plaçant les masses terrestres à diverses latitudes de la planète. Selon les modèles, le mégacontinent est baptisé Novopangea, Pangea Proxima, Amasia ou Aurica. « *Nous avons choisi pour notre part d'examiner les scénarios Amasia et Aurica, qui représentent deux concepts extrêmes de ce à quoi pourrait ressembler le prochain*

HANNAH DAVIS

« Amasia et Aurica sont deux concepts extrêmes de ce à quoi pourrait ressembler le prochain supercontinent »

Hannah Davis, géologue à l'université de Lisbonne (Portugal)



Aurica se formerait en région équatoriale dans 250 millions d'années, à la suite de la fermeture des océans Atlantique et Pacifique : l'Asie de l'Est rejoindrait les Amériques, tandis que l'Europe entrerait en collision avec l'Afrique.

supercontinent — Amasia étant polaire et Aurica équatorial », explique Hannah Davies. Le scénario Amasia prévoit ainsi que dans 200 millions d'années, les continents se réuniront au pôle Nord, à l'exception de l'Antarctique qui demeurera à sa position actuelle. Dans celui d'Aurica, tous les continents se retrouvent à l'équateur dans 250 millions d'années. À l'aide de simulations climatiques globales, les chercheurs ont alors cherché à comprendre comment la redistribution des masses terrestres affectera le système climatique planétaire. *« La position des continents influe en effet sur la circulation atmosphérique et océanique, ainsi que sur les niveaux d'insolation,* souligne Laurent Jolivet. *Et cela a des interactions importantes avec le climat.* » Ces modélisations montrent ainsi que, selon sa position sur la planète, le futur supercontinent pourrait compromettre sérieusement l'habitabilité de la Terre. Dans le scénario Amasia, les masses terrestres sont positionnées autour des deux Pôles. Sans terre intermédiaire, les courants océaniques actuels, qui transportent la chaleur de l'équateur aux Pôles, disparaîtront. Les régions polaires seront alors plus froides, recouvertes de calottes glaciaires permanentes. Or l'albédo (grandeur représentant la fraction de l'énergie solaire globale réfléchie par une surface) de la glace est de 0,6 quand un miroir parfait a un albédo de 1 et un corps noir parfait de 0. Par comparaison, des terres nues ou cultivées affichent un albédo de 0,05 à 0,25. Sur Amasia, le rayonnement solaire sera renvoyé plus efficacement dans l'espace, ce qui abaissera la température de la planète. Les chutes de neige seront plus abondantes et une quantité importante d'eau demeurera piégée sur les calottes. En conséquence, le niveau de la mer diminuera. Dans cet environnement congelé, il n'y aura que très peu de terres disponibles pour alimenter les formes de vie terrestre.

Établir le statut climatique des différents modèles

Ambiance plus estivale sur Aurica. Sa position géographique équatoriale lui permettra en effet d'absorber plus efficacement l'énergie du Soleil. Et nulle calotte polaire ne renverra la chaleur de l'atmosphère terrestre dans l'espace. Conséquence : la température mondiale moyenne pourrait augmenter de 3 °C ! Les régions côtières demeureront cependant des zones hospitalières pour la vie, à la différence de l'intérieur du continent vraisemblablement sec et aride. Le régime des pluies et l'irrigation des terres — dont dépend l'habitabilité — résulteront de la répartition des rivières, lacs et mers intérieures. Les modèles climatiques ont par ailleurs montré que l'eau liquide sera disponible sur environ 60 % des terres d'Amasia contre 99,8 % de celles d'Aurica.
Les chercheurs envisagent maintenant d'étudier le statut climatique des deux autres scénarios, à savoir Pangea Proxima et Novopangea, *« deux modèles de futurs supercontinents quelque peu similaires à Aurica, car ce sont des terres équatoriales et non polaires* », précise Hannah Davies. Quant aux continents engloutis, leur rôle et leur position dans la future Pangée sont encore inconnus. Nous n'en sommes qu'à l'aube de la compréhension de la machine géologique qu'est notre planète… ■

SIMULATIONS

Des supercontinents aux exoplanètes

L'étude des climats de la future Pangée pourrait permettre à l'avenir d'évaluer l'habitabilité des exoplanètes idéalement distantes (ni trop près, ni trop loin) de leur étoile pour que l'eau s'y maintienne à l'état liquide. Aujourd'hui, la plupart des chercheurs utilisent pour cela des modèles simples de planète-océan, de Terre contemporaine, ou de blocs « continents » simplifiés, sans tenir compte des transports de chaleur océaniques. Or, *« nos simulations montrent que les supercontinents et leurs topographies totalement couplées aux océans peuvent avoir des applications assez intéressantes pour les exoplanètes, dont seule une fraction limitée de leur surface offre des conditions tempérées »*, souligne Michael Way, un physicien américain, spécialiste à la Nasa de la modélisation des atmosphères planétaires, cosignataire de l'article sur Amasia et Aurica.

Pourquoi nos forêts de sapins disparaissent

Les sapins naturels et les épicéas autrefois prisés pour célébrer Noël sont victimes du dérèglement climatique, des insectes ravageurs et des cervidés. Il n'est plus question de les sauver, mais de les remplacer. Notamment par des cyprès d'Arizona ou des cèdres de l'Atlas. De notre envoyée spéciale dans l'est de la France.

Verra-t-on encore demain des sapins à Noël ? Pas seulement chez les particuliers qui s'offrent des arbres bien arrosés venus de pépinières dédiées, mais avant tout en forêt ? Dans la région Grand Est, depuis quatre ans, les sapins traditionnels des Vosges et d'Alsace et les épicéas de la Meuse sèchent massivement sur pied, rongés par la soif et par de minuscules insectes. Les premiers, naturellement installés il y a près de cinq millénaires, *« ont vu naître la tradition de l'arbre de Noël au XVIe siècle en Alsace »*, selon Carole Cusak, professeure de sciences des religions à l'université de Sydney (Australie). Les seconds, massivement replantés après la Première Guerre mondiale, *« ont longtemps incarné, avec leur silhouette conique, le conifère idéal des fêtes, avant d'être détrônés au début du XXIe siècle par les sapins de Nordmann, originaires d'Asie occidentale »*, précise Frédéric Naudet, premier producteur de résineux de France, installé dans le Morvan. *« Ces essences iconiques reculent et constituent un avertissement de ce qui attend les forêts, dont 5 à 16 % des espèces viendront à disparaître, selon que la température annuelle moyenne augmentera de 2 °C ou 4 °C »*, prévient Francis Martin, directeur du Laboratoire d'excellence Arbre, à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Pour en témoigner, direction la forêt de Masevaux-Niederbruck, dans la vallée de la Doller (Haut-Rhin). La soif et la transpiration excessive font virer au rouge orangé les sapins pectinés originels, *Abies alba*. Jean-Charles Villaume, de l'Office national des forêts (ONF), qui veille sur 100 km² arborés du versant alsacien du massif des Vosges, se sent *« démuni, par rapport à ses ancêtres gardes »* payés dès 1521 par le bourg de Sélestat pour empêcher la ruée des habitants sur les conifères. Six siècles

RACHEL MULOT

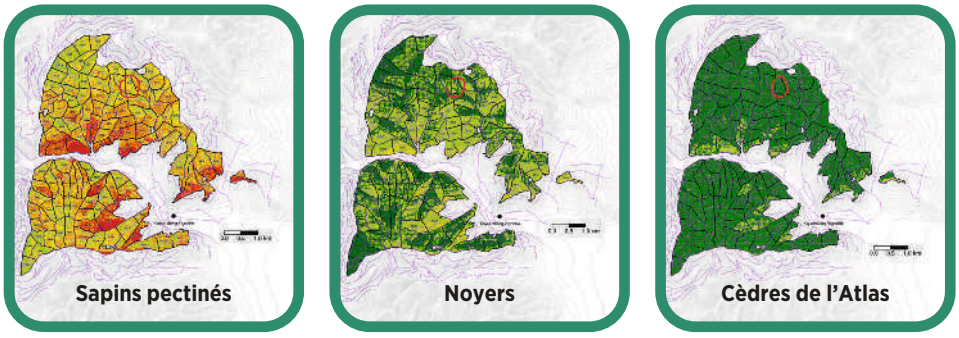
« On débarde habituellement 500 m³ de bois mort chaque année. Là, en octobre, on en est déjà à 8000 m³ »

Jean-Charles Villaume, technicien à l'Office national des forêts (ONF), en charge du massif alsacien des Vosges

FREDERICK FLORIN/AFP

Dans la forêt de Masevaux-Niederbruck (Haut-Rhin), la soif et la transpiration font virer les sapins pectinés au rouge orangé.

Vulnérabilité à la sécheresse à l'horizon 2070 de 3 espèces dans la forêt de Kaysersberg (Alsace). En rouge, la vulnérabilité est forte, en jaune, compatible avec une hausse modérée des températures de 1,5 °C à 2 °C, en vert avec une hausse à 4 °C.



ONF

plus tard, la pression est toujours d'origine humaine, mais le changement climatique aggrave le problème. *« Nous sommes la première génération confrontée à un phénomène que nous ne pouvons pas gérer et il est probable que nous rendrons la forêt dans un moins bon état à nos successeurs »*, déplore le trentenaire. De 2018 à 2020, une crise forestière majeure est née de trois épisodes consécutifs de sécheresse, aussi dévastateurs que celui de l'année caniculaire de 2003. Le printemps pluvieux de 2021 n'a pas enrayé le phénomène et les sapins pectinés — dont les besoins en eau peuvent atteindre 300 litres quotidiens après l'hiver pour les plus grands — continuent de se consumer. Pour éviter les chutes des résineux et vendre le bois à un prix décent, l'ONF fait prélever les moribonds à un tel rythme que la filière bois peine à suivre. *« On débarde habituellement 500 m³ de bois mort chaque année. Là, en octobre, on en est déjà à 8000 m³ »*, indique Jean-Charles Villaume. *« Le dépérissement peut survenir en quelques semaines, et tous, jeunes et vieux, peuvent en être frappés »*, se désole Odile Mougeot, cheffe du service Forêt Colmar/Mulhouse à l'ONF. Depuis 2018, en France, plus de 300 000 hectares de forêts publiques, soit environ 30 fois la superficie de Paris, souffrent de mortalité excessive liée à la sécheresse mais aussi à des insectes ravageurs, les scolytes. Dans certains

ÉRIC GANGLOFF

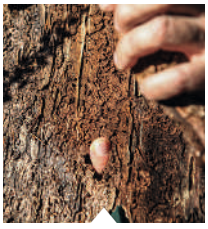
RACHEL MULOT

Les cerfs, en forte densité dans les forêts alsaciennes et vosgiennes, dévorent les jeunes pousses de sapin. Pour les préserver des brouteurs, les agents de l'ONF les protègent avec des bagues en plastique.

massifs forestiers, ce sont 15 à 20 % des arbres qui sont morts ces dernières années, selon les chiffres du département de la santé des forêts au ministère de l'Agriculture. Les scolytes rongent le tissu cellulaire des arbres affaiblis, attirés par les terpènes volatils qu'émettent les résineux quand ils veulent mobiliser leurs propres cellules pour résister au stress hydrique. « *L'emploi de pesticides est totalement prohibé depuis 2019 en forêt et les pièges biologiques pour les scolytes permettent seulement de mesurer l'imminence ou l'importance des attaques de ces insectes* », constate le forestier Alain Schall, qui léguera une plantation d'épicéas (pessière) dévastée dans le Haut-Rhin après trente ans passés à l'entretenir.

Déploiement et tests de nouvelles essences

D'ordinaire, les insectes foreurs dégradent le bois pour fournir de la matière organique au sol. Mais avec la sécheresse, la machinerie écologique s'est emballée et les scolytes, désormais, pullulent, jusqu'à menacer les arbres plus sains de leur appétit. Le massif domanial de Verdun a ainsi vu dépérir « *1500 de ses 9615 hectares ces dernières années* », estime Gersende Gérard, de l'ONF de Verdun. Sur ces terres grevées d'obus lors de la Première Guerre mondiale avaient été plantés des résineux sombres, pins noirs et surtout épicéas entre 1927 et 1933 dans un but mémoriel. « *La science forestière a progressé depuis, et dès les années 1970, les scientifiques ont averti que ces plantations monospécifiques n'étaient ni adaptées à la nature des sols, ni durables* », rappelle l'écologue forestier Jean-Luc Dupouey, de l'Inrae de Nancy. Le choc visuel n'en reste pas moins dévastateur lorsqu'on chemine vers l'ossuaire de Douaumont, dont les abords autrefois boisés ne sont plus que crevasses et souches. Même si les clématites et les feuillus (érables, frênes, chênes) recolonisent naturellement les terrains éclaircis par les gestionnaires depuis le printemps dernier. « *L'aménagement de la forêt de Verdun peut être considéré comme pilote en matière d'adaptation des peuplements à ce contexte climatique évolutif* », explique Lilian Duband, référent du changement climatique à l'ONF, aujourd'hui en Franche-Comté. Des déploiements de nouvelles essences, mais aussi des essais de migration assistée ou des tests prospectifs d'essences moins connues sont menés. Décimée, la vallée de la Doller en Alsace, est, elle aussi, devenue un territoire d'expérimentation sous la direction de Laurent Saint-André de l'Inrae de Nancy. « *En 2019, une petite trentaine d'étudiants de l'université de Lorraine/AgroParisTech ont arpenté les bois pendant trois semaines, évalué l'état de santé des arbres, échantillonné 300 "placettes" en prenant en compte les variables géologiques de sol, la topographie et les mélanges d'essences dans les peuplements* », explique-t-il. Ils ont pratiqué des carottages qui ont ensuite été analysés par spectrométrie infrarouge. Leur première conclusion est que les sapins pectinés n'auront pas le temps de migrer ou de s'adapter. Ils ne survivront qu'en altitude sur les versants nord. « *Nous ne sommes*



RACHEL MULOT

Les scolytes ont creusé cette écorce de sapin pectiné.

ESPÈCES

Les résineux emblématiques de France

Le sapin pectiné et l'épicéa commun représentent à eux seuls 43 % du volume des conifères de France. Ils sont surtout répartis en zone montagneuse, tandis que les autres résineux se concentrent dans le massif landais (pins maritimes) et dans l'ouest du pays (pins de douglas à près de 70 %, mais aussi sapins de Nordmann). Les conifères constituent 21 % des 16,9 millions d'hectares de forêts en France métropolitaine (le tiers du territoire).

Sapin blanc ou pectiné (*Abies alba*). Cet arbre indigène pousse à des altitudes variant de 400 à 1800 mètres, des Pyrénées aux montagnes de l'Europe centrale. En France, il couvre 4 % du territoire forestier.

Épicéa (*Picea abies*). Sa silhouette conique s'implante jusqu'à 2000 mètres d'altitude. Il couvre au moins 2 % du territoire forestier.

Pin maritime ou des Landes (*Pinus pinaster*). Cet arbre de littoral, massivement planté sur la côte aquitaine, couvre 10 % de la surface boisée de France. Les tempêtes de 1999 et de 2009 ont montré sa fragilité.

Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Avec ses cousins, les pins d'Alep et les pins maritimes, il couvre 20 % de la forêt française et s'acclimate déjà dans les montagnes.

Pin de Douglas ou de l'Oregon (*Pseudotsuga menziesii*). Planté à la fin du XVIIe siècle, son prélèvement dépasse les 2 millions de m³ et pourrait atteindre 6 millions en 2030.

Sapin de Nordmann (*Abies nordmanniana*). Il est de plus en plus courant en France où 5 millions d'arbres de Noël sont consommés chaque année.

PHOTOS : AKG IMAGES - LEEMAGE

pas face à un accident ponctuel mais à une évolution de fond à laquelle il faut s'adapter », explique le chercheur. L'avertissement vaut pour toutes les plaines ou les régions montagneuses de France qui abritent épicéas et sapins. Alors, comment s'adapter et préserver l'ensemble des services écosystémiques rendus par les forêts : production de bois, protection des captages d'eau, accueil du grand public, ouverture aux chasseurs ? Le projet FuturForEst parie sur 75 « îlots d'avenir » constitués d'une essence nouvelle pour la région : 2000 plants juvéniles sur un hectare testés pour leur aptitude à résister au changement climatique. À Masevaux, Jean-Charles Villaume cajole ainsi des cyprès d'Arizona, soigneusement enclos pour éviter les brouteurs. Mais la Société botanique de France est dubitative. *« Pourquoi choisir des essences d'outre-Atlantique, en plantation monospécifique, quand l'avenir recommande les variétés déjà implantées localement et le mélange d'essences ?* », s'interroge sa présidente Élisabeth Dodinet. Dans d'autres zones, justement, ce sont des espèces déjà acclimatées que l'on aide à grimper sur les sommets et notamment les sorbiers ou les cèdres de l'Atlas.

Reste encore un problème : les environnementalistes et les chasseurs veulent des forêts densément peuplées de sangliers et de cervidés. Or les populations de ces derniers explosent avec les hivers cléments. Ils broutent les jeunes pousses et taillent les arbres en bonsaï. *« C'est la double peine. Quand les arbres parviennent malgré tout à sortir des pousses, celles-ci se font manger par des bêtes affamées car trop nombreuses* », déplorent les forestiers rencontrés à Kaysersberg, Aubure, ou Wildenstein (Haut-Rhin). La densité des cerfs atteindrait actuellement plus de 12 animaux par hectare dans les massifs alsaciens et vosgiens quand elle ne serait supportable qu'avec deux à trois de ces animaux par centaine d'hectares, selon des expériences menées en Croatie et Slovénie… La question de la forêt que l'on veut pour demain n'a jamais été aussi brûlante. ■

Rachel Mulot @RachelFleaux

Le bois constitue la première source d'énergie renouvelable consommée en France. Plus de sept millions de foyers y ont recours.

JÉRÔME OBIOLS / NATURIMAGES

5 questions pour adopter les énergies renouvelables chez soi

Eau chaude et chauffage constituent la principale consommation d'énergie à domicile. Les prix du gaz et de l'électricité affichant une hausse continue, les énergies renouvelables permettent de faire baisser la facture.

Par Stéphanie Condis, avec Agence Forum News

1 Lesquelles peut-on utiliser pour un usage domestique ?

Il existe cinq sortes d'énergies renouvelables, réputées inépuisables : hydraulique, éolienne, géothermique, solaire et biomasse. Les quatre dernières peuvent satisfaire un usage domestique, avec quelques réserves. En particulier concernant l'éolien car il demande un site très venté et des pales en hauteur pour générer suffisamment d'électricité. Or, poser une éolienne sur le toit d'une maison n'est pas du tout recommandé à cause des vibrations qu'elle génère. Et pour l'élever à plus de 12 mètres, il faut déposer un permis de construire.

La géothermie est utilisée pour se chauffer, en général grâce à une pompe à chaleur (PAC) dont les capteurs sont enterrés à l'horizontale (ce qui nécessite une surface de terrain suffisante) ou à la verticale (ce qui demande d'effectuer des démarches administratives relatives au forage) : les calories du sol sont recueillies pour être transférées à l'intérieur de l'habitation. Le soleil permet de produire de l'électricité avec des panneaux photovoltaïques *(lire p. 62)* ou de la chaleur (pour l'eau et le chauffage) avec des panneaux thermiques.
Enfin la biomasse, par l'intermédiaire du « bois énergie », est un bon moyen de se chauffer à moindre coût.

2 Qu'en est-il du logement collectif ?

Le choix est un peu plus restreint qu'en maison individuelle. Si, en ville, l'ensoleillement est plus limité à cause de l'ombre des immeubles, il est néanmoins possible d'installer des panneaux solaires et de faire du « co-toiturage » pour produire de l'électricité en copropriété. Cela se pratique à Angers ou à Nantes, avec la coopérative citoyenne en Pays de la Loire CoWatt.
Autre solution, qui bénéficie d'aides financières : le raccordement au réseau de chauffage urbain. Il en existe 781 en France, surtout dans les grandes villes, reposant, par exemple, sur l'énergie géothermique ou la biomasse (combustion du bois et incinération des déchets).
Dernière option, signer un contrat chez un fournisseur d'énergie verte *(lire l'interview p. 62)*. Dans ce cas, l'électricité ou le biogaz d'origine renouvelable ne sont pas directement distribués chez soi, mais injectés dans le réseau global à hauteur de la consommation des souscripteurs désireux d'investir, par leur abonnement, dans des parcs éoliens, centrales solaires ou unités de méthanisation valorisant les déchets agricoles.

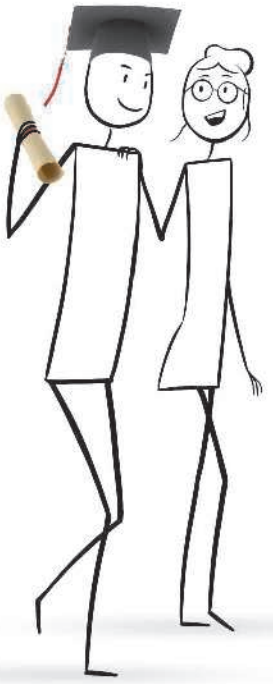
Informations et conseils gratuits sur les aides disponibles avec le service public : **www.faire.fr** Tél. : 0.808.800.700.

3 Laquelle est la moins chère pour se chauffer ?

C'est le bois. Il constitue la première source d'énergie renouvelable consommée en France, loin devant l'électricité d'origine hydraulique. Plus de sept millions de foyers y ont recours. Mais attention, les cheminées à foyer ouvert sont très peu performantes et détériorent la qualité de l'air à l'intérieur comme

PUBLICITÉ

Pourquoi et comment protéger sa famille ?



Nos équipements matériels sont généralement bien protégés mais on néglige trop souvent l'essentiel : la protection de notre famille.
23 % des français déclarent n'avoir jamais pensé à se protéger en cas de décès prématuré(1).
Et pourtant, on sait que le régime de protection sociale de base reste limité et ne permet pas toujours aux familles de faire face financièrement à ses conséquences.

Pourquoi se protéger ?

Quel que soit son niveau de revenus, chaque ménage doit faire face aux dépenses obligatoires de la vie courante : loyers ou remboursements de prêts, assurances, abonnements d'électricité, gaz ou téléphonie, etc.

En cas de décès prématuré d'un des conjoints, les revenus du foyer seront diminués, et ces dépenses inévitables deviendront plus difficiles à assumer. Outre les charges et les dépenses courantes qui restent inchangées, c'est bien souvent l'avenir des enfants qui pose question. Pourront-ils poursuivre leur scolarité, envisager des études supérieures ? En 2020, après avoir perçu les APL, le reste à charge mensuel d'un étudiant non boursier est de 912,68 €(3).

En cas de décès prématuré, la Sécurité sociale versera à la famille du défunt un capital de 3 472 €(4) s'il était salarié. Dans certaines entreprises, les salariés bénéficient en plus d'une protection collective. Cependant, rares sont les ménages qui pourraient disposer d'un capital équivalent à deux ou trois ans de salaire de la personne décédée : c'est pourtant le montant qui est recommandé pour maintenir le niveau de vie du foyer. Pour protéger sa famille contre les conséquences financières d'un décès, l'épargne et l'assurance décès sont des outils complémentaires.

Comment se protéger ?

Il existe plusieurs solutions.
L'épargne est un très bon moyen de préparer l'avenir. En cas de coup dur, l'argent mis de côté contribuera aux premières dépenses. Mais là encore tout le monde n'a pas constitué une épargne équivalente à deux à trois ans de salaire. L'assurance décès est alors une solution pour garantir un capital et maintenir la vie du foyer avec des mensualités qui restent abordables.

Comment ça marche ?

Souscrire un contrat d'assurance décès permet de garantir un capital à un ou plusieurs bénéficiaires. Il est conseillé de choisir un capital correspondant à au moins un an de salaire pour couvrir les premiers frais et charges courantes et laisser au conjoint le temps de rebondir.
Si on le peut, mieux vaut prévoir deux à trois ans de salaire, pour garantir durablement le niveau de vie de la famille à fortiori lorsqu'il y a des enfants. Le montant des cotisations est calculé en fonction de l'âge et du capital décès choisi. Il évolue chaque année en fonction de ces mêmes critères. Plus l'assuré est jeune, moins les cotisations seront importantes. C'est une solution accessible et qui permet d'anticiper la protection financière de sa famille.

Seulement 6 %
des familles avec enfants déclarent disposer d'une épargne suffisante en cas de décès prématuré(2).

MAIF
assureur militant

(1) Etude assurance décès YOUGOV réalisée sur un échantillon de 1025 pers. (2) Base répondants : 200 personnes – Juin 2020.
(3) Enquête Unef sur le coût de la vie étudiante - 2020. (4) Source : ameli.fr - rubrique "décès d'un proche".
MAIF - Société d'assurance mutuelle à cotisations variables - CS 90000 - 79038 Niort cedex 9.
MAIF VIE - Société anonyme au capital de 122 000 000 € - RCS NIORT 330 432 782 - CS 90000 - 79029 Niort Cedex 9.
Entreprises régies par le Code des assurances.

à l'extérieur. Elles ne sont d'ailleurs plus autorisées dans les constructions neuves et leur usage sera prohibé en 2022 dans la vallée de l'Arve (Haute-Savoie). Il est donc nécessaire d'investir dans des équipements efficaces. Il peut s'agir d'un système décentralisé, qui ne chauffe qu'une partie du logement, à l'instar des inserts et des poêles (en acier ou fonte) à bûche ou à granulés. Ou bien centralisé, comme la chaudière à bois qui sert à la fois à chauffer les radiateurs mais aussi l'eau de la salle de bains et de la cuisine.

Informations sur le site de l'association Ajena spécialisée dans la transition énergétique : www.ajena.org/ressources/argus-energie.htm et simulation de systèmes de chauffage sur www.thermix.org

4 Quel est l'intérêt d'installer des panneaux solaires ?

Cela permet de produire sa propre électricité chez soi. Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), 25 m² de panneaux photovoltaïques peuvent générer, en un an, environ 2500 kWh, soit l'équivalent de la consommation électrique (hors chauffage, cuisine et eau chaude) d'une famille de quatre personnes. Le coût des panneaux et de leur installation a baissé, ce qui rend l'opération plus intéressante. D'autant plus si on vend le surplus, au-delà de l'autoconsommation : *« C'est en été que l'on produit le maximum, or on s'absente souvent pour les vacances,* note Marc Jedliczka, porte-parole de l'association négaWatt, qui milite pour une transition énergétique réaliste et soutenable. *Il est donc judicieux de passer un contrat d'achat avec EDF ou Enercoop, par exemple, afin de rembourser cet investissement en vendant à un prix garanti sur vingt ans, fixé par l'État. En général, il est rentabilisé au bout de quinze ans.* » Également directeur de l'association Hespul, spécialisée dans la transition énergétique et le photovoltaïque, Marc Jedliczka estime que les panneaux en kit à monter soi-même sont peu intéressants financièrement mais constituent un premier geste vert… à déclarer impérativement à Enedis.

Informations sur www.photovoltaique.info

5 Comment s'assurer de la qualité des solutions possibles ?

Différents types de labels ont été créés pour garantir le sérieux et la qualité des offres et équipements, afin d'aider les particuliers dans leurs décisions et leurs démarches. C'est le cas de « Flamme verte » pour les appareils de chauffage au bois, avec des étoiles attribuées en fonction du rendement et des émissions polluantes.
Investir dans un équipement labellisé ou bien avoir recours à un professionnel certifié RGE (reconnu garant de l'environnement) permet, en outre, de prétendre à des aides de l'État ou des collectivités locales, listées sur le site de l'Ademe (agirpourlatransition.ademe.fr). De plus, l'agence vient tout juste de lancer le label VertVolt pour les abonnements à l'électricité verte, avec mention « sans nucléaire » pour ceux qualifiés « 100 % énergies renouvelables » (comme les propositions d'Enercoop). ■

CLERC

ALEXIS MONTEIL
RESPONSABLE DE PROJET ÉNERGIES RENOUVELABLES AU CLER, RÉSEAU POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

« Le tout premier enjeu consiste à réduire ses besoins »

Existe-t-il des aides pour s'équiper en matière d'énergies renouvelables ?
Une large palette de dispositifs financiers est disponible pour intégrer les énergies renouvelables dans son logement. L'Ademe les liste sur son site Web et les conseillers du réseau Faire (pour Faciliter, accompagner et informer pour la rénovation énergétique) peuvent aussi donner des renseignements. Ces derniers proposent surtout de se lancer dans une démarche plus globale, à commencer par l'amélioration de l'isolation. Car le tout premier enjeu consiste à réduire ses besoins, avant de chercher à y répondre par l'autoconsommation. Pour optimiser le coût des travaux, mieux vaut, en même temps, installer une source d'énergie renouvelable et engager une rénovation énergétique en changeant, par exemple, les fenêtres et en isolant efficacement murs et toit. Cela permet d'adapter au mieux la source de chauffage et son rendement : moins puissant, l'appareil sera moins cher et ne fonctionnera pas en sous-régime, ce qui évite les pannes et l'usure prématurée.

Y a-t-il d'autres manières d'investir dans les énergies renouvelables ?
Oui, soit à la place, soit en complément d'un équipement « vert » chez soi. On peut souscrire un abonnement chez un fournisseur d'électricité comme Enercoop ou de gaz comme Ilek. C'est une manière de contribuer au développement de grands projets de production d'énergies renouvelables en France. On peut aussi placer son épargne dans des fonds d'investissement citoyens comme celui du réseau « Énergie partagée ». ■

Propos recueillis par S. C.

J'agis avec ENGIE

« Installer des panneaux solaires, ok. Mais on y gagne quoi ? »

Avec l'offre My Power(1) économisez jusqu'à

1000 € TTC/an(2) sur votre facture d'électricité.

Plus d'infos au 0 800 940 180 Service & appel gratuits ou sur mypower.engie.fr

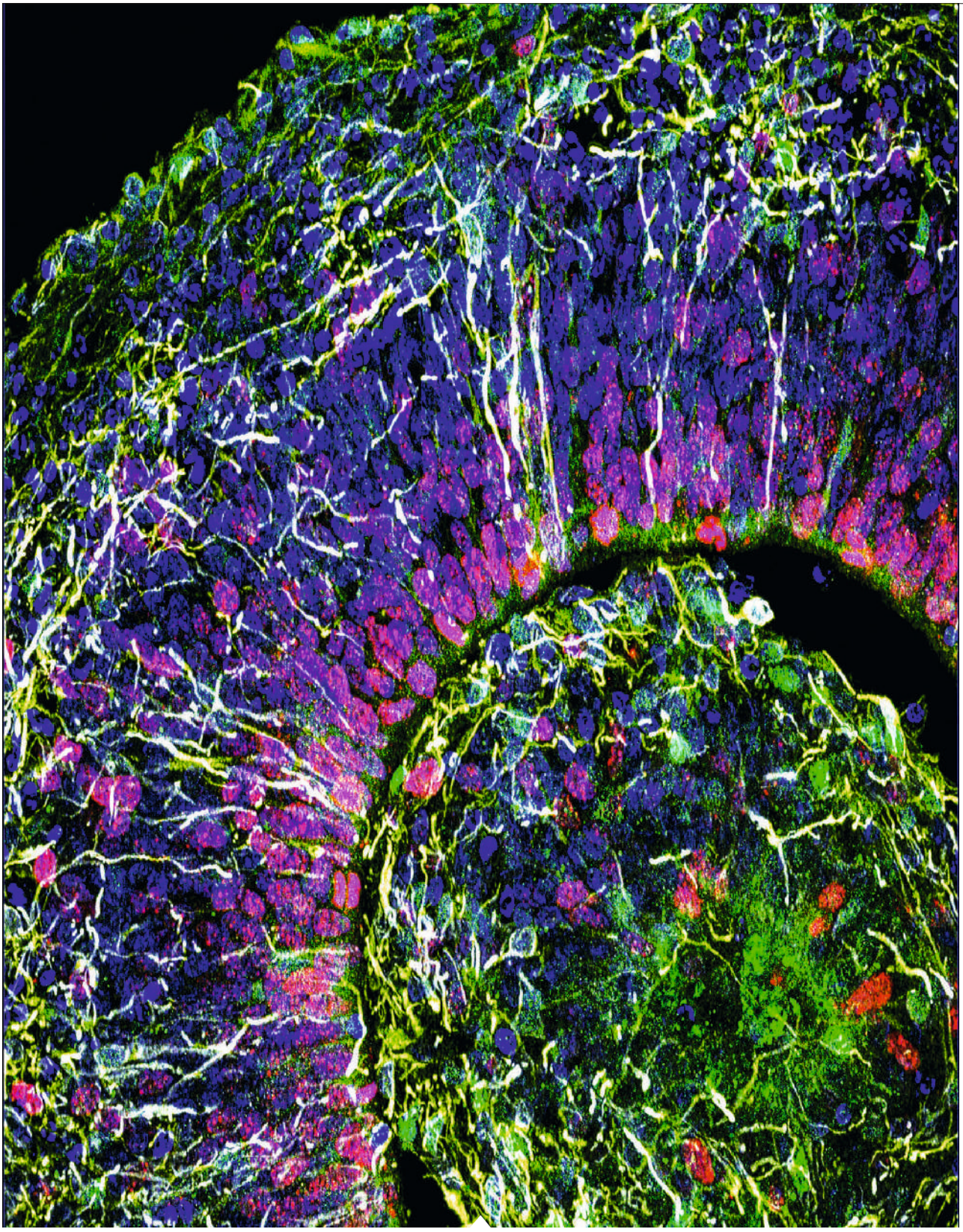
ENGIE

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Offre My Power : solutions sur mesure de production d'électricité avec panneaux photovoltaïques pour les particuliers propriétaires de maison individuelle. Voir conditions et détails de l'offre sur mypower.engie.fr

(2) Le calcul des économies est réalisé à partir de données de production issues du site PVGis (prenant en compte l'inclinaison et l'orientation du toit), de données de consommation estimées grâce à la date de construction du logement et le nombre d'occupants (références obtenues avec le rapport RAGE 2014, ADEME) et d'un taux d'autoconsommation fixé à 75 %. Le montant en euros est calculé en multipliant les kWh autoconsommés (production solaire multipliée par le taux d'autoconsommation) avec un prix du kWh fixé à 0,2087 € pour les 10 prochaines années. Ce prix est défini sur base du tarif réglementé Heures Pleines 9 kVA applicable au 1er août 2021 sur lequel est appliquée une augmentation de 3 % par an sur les 10 prochaines années. Informations données à titre indicatif, qui ne tiennent pas compte des habitudes de consommation, du contrat d'énergie souscrit et de l'éventuelle revente sur le réseau. Exemple pour 1000 € d'économies/an : maison située à Nice (06), orientée plein sud, inclinaison du toit 35° par rapport à l'horizontale, logement construit avant 1980, surface de 130 m², chauffage et eau chaude sanitaire fonctionnant à l'électricité, avec climatisation et piscine, composé de 4 personnes, et puissance installée de 4,5 kWc. Ce montant n'inclut pas la revente du surplus sur le réseau électrique, ni les aides de l'État.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2435285011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images.



ALYSSON MUOTRI, UC SAN DIEGO HEALTH

Cet organoïde cérébral (vu ici en coupe), cultivé par Alysson Muotri (université de Californie, États-Unis), a montré une activité électrique proche de celle du fœtus humain. Chaque couleur marque un type différent de cellules neuronales.

Organoïdes

Les cerveaux de laboratoire s'éveillent

Des chercheurs américains ont enregistré pour la première fois une activité électrique émise par des cultures cellulaires reproduisant en miniature un morceau de tissu cérébral. Ces petites structures permettent déjà d'étudier le développement de plusieurs maladies neurodégénératives ou le processus de création des organes de la vue.

Par Hugo Jalinière @HugoJaliniere

« *It's alive ! It's alive !* » (« *C'est vivant !* ») C'est peut-être à cette célèbre réplique du Dr Henry Frankenstein, dans le film de James Whale (1931), qu'a pensé Alysson Muotri en s'apercevant que ses organoïdes cérébraux s'étaient en quelque sorte « éveillés ». C'est en effet dans son laboratoire de l'université de Californie, à San Diego (États-Unis), que son équipe a enregistré pour la première fois en 2019 une activité électrique émise spontanément par des cultures cellulaires tridimensionnelles reproduisant en miniature un morceau de tissu cérébral. Ouvrant ainsi un véritable champ d'application à ces « cérébroïdes » pour la recherche sur le développement du cerveau et les pathologies associées. De la taille de petits pois, ces structures ont fini — à la grande surprise de l'équipe — par développer des réseaux de neurones fonctionnels. « *Après huit mois de maturation, nos organoïdes cérébraux ont montré une activité électrique croissante dans un réseau sophistiqué de neurones capable de générer des oscillations dont la complexité reflétait leur âge,* détaille Alysson Muotri. *Les similitudes entre cette activité et celle observée chez les fœtus ou les bébés grands prématurés nous font même dire que ces organoïdes pourraient servir comme modèle neuro-développemental, un stade précoce largement hors de portée d'étude jusqu'ici.* »

Si les Anglo-Saxons n'hésitent pas à employer le terme de « mini-cerveaux » (*mini-brains*), nombre

de chercheurs en France ne goûtent guère ce qui reste un abus de langage : *« C'est un terme qui ne correspond pas exactement à ces morceaux de tissus cérébraux minimalistes, aussi impressionnants soient-ils »*, prévient Bertrand Pain, chef d'équipe à l'institut Cellule souche et cerveau (SBRI) de Lyon (Rhône). *« On peut avoir des cellules musculaires en boîte de Petri qui se contractent, de là à avoir un muscle fonctionnel, il y a un cap qu'on est très loin d'avoir franchi. »*

GENOME INSTITUTE OF SINGAPORE, A*STAR

Plongés dans un gel nutritif, les cellules souches vont se spécialiser et s'organiser en structure 3D.

Une fascinante capacité à s'autostructurer

La recette pour faire de bons mini-cerveaux ? *« On part de cellules souches dont la particularité est de proliférer par division et de pouvoir se spécialiser en n'importe quel type cellulaire spécialisé (foie, cœur, cerveau, etc.)*, explique le professeur John De Vos, responsable du service d'ingénierie cellulaire et tissulaire au CHU de Montpellier (Hérault). *Il faut ensuite les placer dans une matrice, un gel nutritif, dans lequel les cellules vont se spécialiser et s'organiser en structure 3D selon un patron du tissu normal correspondant »*, ajoute l'expert. « Stricto sensu, *un organoïde doit reproduire* a minima *certaines fonctions du tissu qu'il veut mimer »*, précise de son côté Bertrand Pain. Ce qu'il y a de fascinant dans cette « cuisine » cellulaire, c'est la capacité des organoïdes à s'autostructurer. *« C'est la composition du milieu de culture dans lequel on plonge les cellules souches qui détermine en quoi elles vont se différencier et, donc, comment il faut qu'elles s'assemblent,* explique le chercheur. *Nous les faisons flotter et elles s'agrègent toutes seules. De sorte que nous pouvons reproduire différentes parties du cerveau uniquement en modulant le gel dans lequel on les immerge. »*

En contrepartie de cette autonomie, il faut un autre ingrédient pour que

VERBATIM

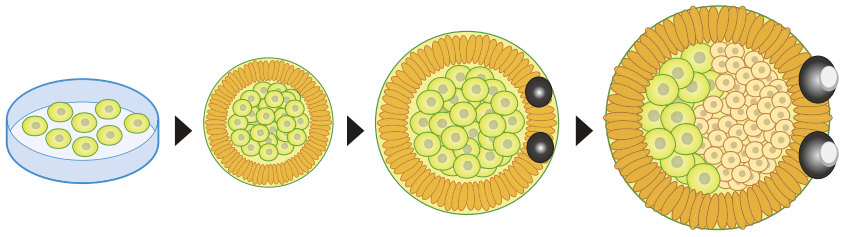
HERVÉ CHNEIWEISS PRÉSIDENT DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DE L'INSERM

Serions-nous capables de détecter une forme de conscience ?

INSERM

« Avant de poser de nouvelles problématiques éthiques, les organoïdes promettent des solutions pour réduire le recours à l'expérimentation animale. Certes, en l'état actuel de leur développement, aucun régulateur n'accepterait d'autoriser un essai chez l'humain qui n'aurait fait l'objet d'expérimentation que sur ces cultures cellulaires. Mais à terme, cette promesse devrait être tenue. Si les organoïdes simples actuels ne méritent pas une considération morale sérieuse en soi, l'émergence d'une activité neurale pouvant être comparée à celle d'un cerveau fœtal humain immature oblige à se demander si de telles entités, poussées à maturité, pourraient un jour développer une forme de conscience. Il faut distinguer l'activité enregistrée aujourd'hui, sans conséquence morale, de l'émergence possible d'une activité cognitive, qui exigerait de considérer le cérébroïde comme une entité capable de souffrir. Serions-nous seulement capables de détecter une telle « conscience » ? Un certain degré de complexité de l'architecture cérébrale obtenue pourrait être un critère. Certains éthiciens proposent d'agir « comme si » et d'appliquer aux cérébroïdes sophistiqués des règles éthiques inspirées de l'expérimentation animale : n'utiliser ces modèles que si les connaissances potentielles obtenues valent les souffrances éventuellement infligées et minimiser celles-ci, par exemple en administrant des produits anesthésiants. » ■

L'organoïde cérébral ouvre les yeux

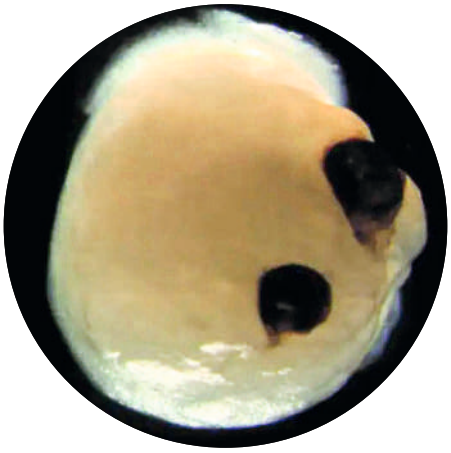


Jour 0
Cellules souches humaines dans leur milieu de culture.

Jour 10
Formation d'une neurosphère, amas de cellules pré-neurales.

Jour 30
Naissance de deux structures oculaires rudimentaires.

Jour 60
Les vésicules optiques bilatérales apparaissent et captent la lumière.



Il a suffi de 60 jours à ces structures neurales pour développer leur propre système oculaire rudimentaire composé de deux « proto-yeux » connectés à un réseau de neurones actifs, visibles sur la photo (à droite).

INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS / PHOTO ELKE GABRIEL - HHU, DÜSSELDORF

les organoïdes grandissent bien : le temps de « vie » qui leur est consacré. Ainsi, utiliser des cellules souches humaines pour obtenir les modèles les plus fidèles peut prendre plusieurs mois. À six semaines par exemple, les organoïdes cérébraux du laboratoire d'Alysson Muotri possédaient bien quelques neurones, mais ceux-ci fonctionnaient de façon anarchique et clairsemée. Il a fallu attendre deux mois pour qu'ils se synchronisent sur une fréquence. À quatre mois, les neurones ont émis leur première oscillation : un pic d'activité très rapide suivi d'un autre, le tout en quelques centaines de millisecondes. Puis les cycles d'oscillations se sont accélérés et sont devenus plus réguliers. Et au huitième mois, soit environ 240 jours, les oscillations sont devenues moins stéréotypées, sur plusieurs fréquences, comme dans un cerveau humain.

Le premier modèle de la maladie de Charcot élaboré

Fin octobre, une équipe du département de neurosciences cliniques à l'université de Cambridge (Royaume-Uni) a même fait pousser ses organoïdes pendant 340 jours. Une patience qui n'aura pas été vaine : cultivés à partir de cellules de patients atteints de la maladie de Charcot (sclérose latérale amyotrophique, SLA), les petites structures cérébrales ont finalement permis d'élaborer le premier modèle de cette maladie neurodégénérative foudroyante qui s'attaque aux motoneurones contrôlant tous les muscles du corps. *« Nous pouvons étudier ce qui peut se produire au tout début de la maladie, bien avant qu'un patient ne présente ses premiers symptômes, mais aussi les perturbations et interactions cellulaires qui évoluent au fil du temps »*, rapportent les auteurs dans *Nature Neuroscience*. D'autres maladies neurologiques font aussi l'objet d'approche par le biais des organoïdes, comme celle d'Alzheimer. Mais il existe des limites intrinsèques à l'ingénierie cellulaire qui font obstacle à la reproduction fidèle de systèmes nerveux malades. L'intégration d'un système immunitaire reste en effet une difficulté, alors qu'elle est essentielle. *« Ce dernier aspect commence tout juste à être reproduit »*, note Bertrand Pain. Autre limite : l'absence de vascularisation qui freine la capacité des organoïdes à croître. En effet, sans vaisseaux sanguins pour l'irriguer, l'amas de cellules — bien vivantes ! — ne peut se nourrir autrement que par les échanges avec son milieu de culture. *« C'est leur petite taille qui les empêche de se nécroser de l'intérieur. Cela peut arriver de temps en temps, mais en principe il y a un équilibre entre ces cellules,* précise Bertrand Pain. *Pour les rendre plus gros et donc complexifier les systèmes, il faudra en effet pouvoir intégrer un système sanguin. »*

> L'intégration d'un système immunitaire reste une difficulté, alors qu'elle est essentielle

C'est ce sur quoi travaillent, là aussi, plusieurs équipes dans le monde. La dernière étude en date à signaler est celle de scientifiques coréens, parue dans *Cells* en août, qui rapporte l'obtention de structures neuronales infiltrées par un véritable réseau sanguin, pour une culture qui n'aura duré que 50 jours. Plus fascinant encore, une équipe notamment composée de chercheurs de l'Institut de la vision, à Paris, a réussi à simplifier… la formation des yeux ! Et ce en laissant se développer *in vitro* des vésicules optiques associées au cerveau

antérieur. Concrètement, deux « proto-yeux » se sont spontanément développés sur l'organoïde *(voir l'infographie p. 67)*. Deux grands yeux noirs composés de cellules primitives de cornée et de rétine, mais aussi de neurones avec des axones (prolongements conduisant aux jonctions entre neurones) formant des réseaux électriquement actifs. En clair, ces organoïdes voient la lumière, car ils répondent aux *stimuli* en envoyant des signaux au reste du tissu cérébral. Une expérience à visée clinique puisque ces résultats inédits, publiés dans *Stem Cell* fin août, permettront de mieux comprendre les interactions œil-cerveau au cours du développement embryonnaire. Et de modéliser certaines maladies oculaires à partir d'organoïdes dérivés de cellules souches de patients pour de futures approches de médecine personnalisée.

Détecter la capacité des organoïdes à « ressentir »

Ces prouesses laissent envisager des mini-cerveaux de plus en plus complexes… Mais iront-ils jusqu'à reproduire une sorte de conscience ? « *L'évolution des protocoles, optimisés pour reproduire différentes parties du cerveau, fait déjà de la fusion d'organoïdes de régions cérébrales différentes une réalité,* relève Alysson Muotri. *Une stratégie de "Lego-organoïdes" qui pourrait à terme intégrer un cortex fonctionnel, un thalamus et le tronc cérébral… et ouvrir ainsi la voie à des substrats anatomiques et physiologiques de la conscience, que cela soit fait de façon intentionnelle ou non* ». En effet, toute la difficulté dans ce futur aux allures de science-fiction sera d'être en mesure de détecter la capacité des organoïdes à « ressentir » — une douleur par exemple — voire à « se sentir » comme quelque chose doué d'une forme de pensée… Bien sûr, la création délibérée d'une conscience à l'aide d'organoïdes n'est pas l'objet de la recherche actuelle. Mais cela pourrait aussi bien se produire par hasard, à mesure que les protocoles et les techniques de modélisation des maladies s'améliorent. ■

Vers des organismes sur puce

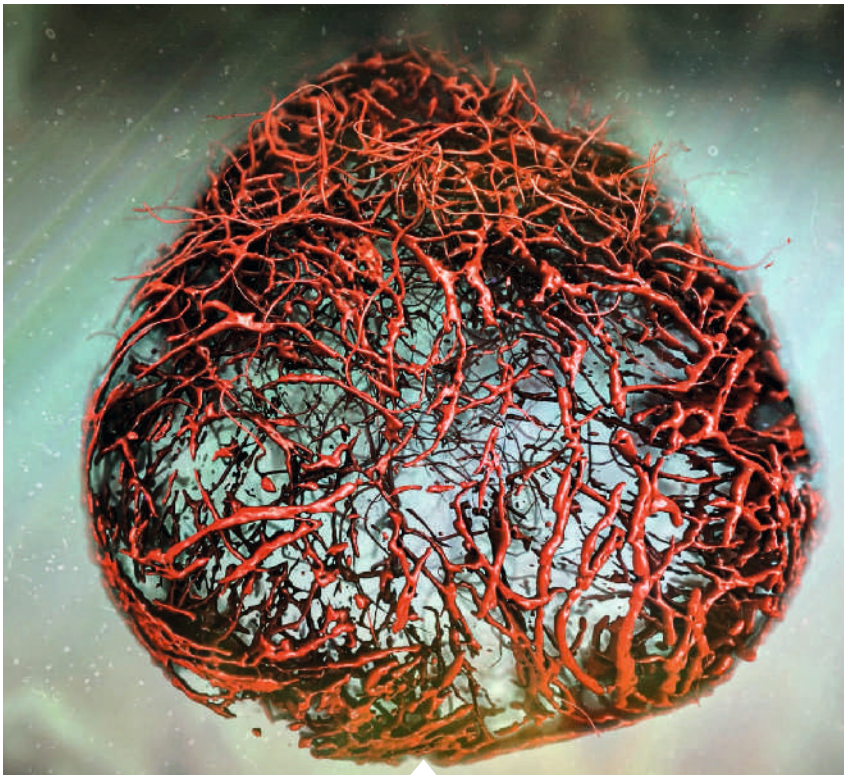
Pour tester la toxicité de nouvelles molécules ou étudier des interactions cellulaires pathologiques, les organoïdes se multiplient et parfois s'assemblent.

Y a-t-il encore des organes qui n'ont pas été reproduits en boîte de Petri ? Cerveau, rein, poumon, cœur, muscle, peau, intestin, thyroïde, testicule, pancréas… Cette liste s'est encore allongée en mars dernier grâce aux tout premiers organoïdes de glandes lacrymales produits par une équipe de l'institut Hubrecht (Pays-Bas). Conçues pour mieux étudier les phénomènes de sécheresse oculaire, ces petites structures cellulaires en 3D ont même sécrété leurs propres larmes ! Preuve parlante de la fidélité de ces mini-modèles, et donc de leur pertinence pour analyser plus finement les interactions cellulaires à l'œuvre dans les organes, et les maladies qui les touchent. Ou pour tester la toxicité de nouvelles molécules. C'est l'objet de Prévitox, un réseau Inserm lancé en 2019 et porté par l'institut NuMeCan (nutrition, métabolisme et cancer) que dirige Bruno Clément, directeur de recherche Inserm en biologie cellulaire à Rennes (Ille-et-Vilaine). Il regroupe près de 35 laboratoires spécialisés dans l'ingénierie des cellules souches, le métabolisme de différents organes ou encore la « bio-impression », l'impression 3D de tissus à partir d'encre cellulaire. « *L'objectif est de démontrer qu'on peut évaluer rapidement la toxicité de nouveaux médicaments ou la susceptibilité individuelle à des effets indésirables,* explique Bruno Clément. *Avec une capacité à répondre en situation de crise.* » Un cas de figure auquel a pu s'exercer Prévitox avec la crise du Covid-19 puisque la toxicité des molécules testées dans l'essai clinique européen Discovery a fait l'objet d'une évaluation rapide par le réseau.
L'autre atout des organoïdes, c'est de réduire les tests sur animaux, tout en disposant de modèles plus fidèles. À ceci près que ces mini-structures ne sont que des fragments miniatures d'organismes, non inclus dans un tout.

BRUNO CLÉMENT

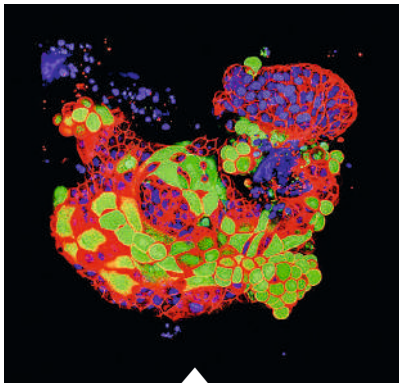
Il est désormais possible de combiner différents organoïdes, comme le cœur et les poumons ou le foie et le rein

Bruno Clément, directeur de l'institut NuMeCan (Inserm), à Rennes



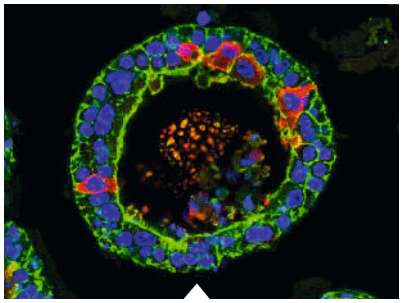
JOSEF PENNINGER ET REINER WIMMER/IMBA

Organoïde vasculaire reproduisant les capillaires humains (illustration). Plusieurs équipes dans le monde s'attellent à l'intégration d'un véritable système sanguin.



NORMAN SACHS

Organoïde pulmonaire. En vert, des cellules infectées par le virus syncitial.



YORICK POST/ELSEVIER

Organoïde de glandes lacrymales avec la formation de « larmes » (en rouge).

Du moins pour l'instant… *« Grâce à des dispositifs de microfluidiques, il est désormais possible de combiner différents organoïdes, comme le cœur et les poumons ou le foie et le rein,* précise le spécialiste. *Cela pose de nouveaux défis à l'analyse des processus cellulaires. Mais permet aussi d'envisager à terme ce qu'on appelle le "body on a chip", c'est-à-dire la reconstitution d'un organisme sur puce microfluidique.* » On peut donc imaginer — aux frontières de la science-fiction — une sorte de « micro-monstre cellulaire » de Frankenstein, assemblage sur puce des systèmes urinaire, digestif, cardiovasculaire, pulmonaire, nerveux…

Plus actuelle est la possibilité pour ces organes de laboratoire d'être individualisés, parce que fabriqués à partir des cellules de tel ou tel patient. *« Les cellules tumorales, par exemple, sont assez simples à cultiver : nous obtenons des tumoroïdes personnalisées sur lesquelles nous pouvons pratiquer un* screenning [une sélection] *de molécules pour trouver la meilleure candidate,* précise Bruno Clément. *De la même façon, nous pouvons ainsi développer des organoïdes à partir de patients souffrant de maladies génétiques pour en étudier les déterminants cellulaires, métaboliques ou génétiques.* » Par sa simplicité d'utilisation, l'outil CRISPR — les « ciseaux » de la génétique — permet désormais de tester des corrections de gènes sur des modèles pathologiques issus des patients eux-mêmes.

Les effets de la Dépakine sur des cérébroïdes

En 2022, le réseau Prévitox est censé entrer dans sa phase opérationnelle et devrait pouvoir évaluer la toxicité de molécules jamais testées avant. C'est l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) qui sera seule donneuse d'ordre, excluant les sollicitations indépendantes des laboratoires pharmaceutiques. Lors de la phase pilote, le réseau a pu tester la Dépakine de Sanofi sur des organoïdes cérébraux, un antiépileptique au centre d'un scandale sanitaire pour ses effets potentiellement délétères sur les fœtus lorsqu'il est prescrit chez la femme enceinte. Pour Bertrand Pain, directeur de recherche à l'institut SBRI de Lyon (Rhône) dont l'équipe s'est chargée des tests, *« vu les résultats, si nous avions eu des organoïdes pour tester la Dépakine à l'époque de sa mise sur le marché* [dans les années 1970], *la molécule n'aurait probablement jamais été prescrite chez les femmes enceintes* ». ■

NEUROFEEDBACK Approche consistant, grâce à des exercices visuels ou auditifs, à modifier l'activité cérébrale.

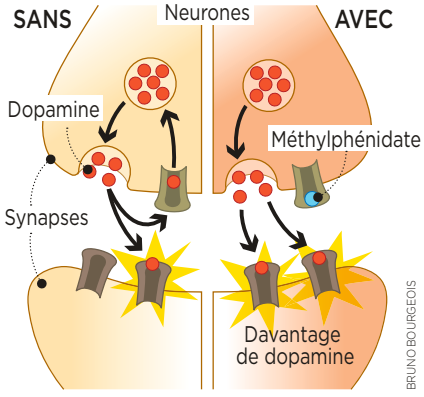
THÉRAPIES COMPORTEMENTALES ET COGNITIVES (TCC) Approches basées sur l'apprentissage combinant exposition et mise à distance des pensées par des techniques de relaxation ou de pleine conscience.

REMÉDIATION COGNITIVE Intervention thérapeutique psychosociale pour traiter les problèmes de mémoire, de concentration, de raisonnement.

L'hyperactivité des adultes enfin reconnue

Troubles de l'attention, procrastination, pertes d'objets, prise de parole intempestive, impulsivité, addictions… Le trouble psychiatrique de l'hyperactivité (TDAH) n'est plus l'apanage des moins de 18 ans. La Ritaline pourra désormais être prescrite aux adultes par tous les médecins.

Hyperactif : si le terme est trop souvent utilisé abusivement pour désigner les enfants turbulents, il caractérise en réalité un véritable trouble. À l'inverse, il est trop rarement employé pour les adultes qui en sont atteints. Depuis le printemps dernier, le méthylphénidate (Ritaline), utilisé depuis 1996 chez les moins de 18 ans en France — et depuis les années 1960 aux États-Unis —, a enfin obtenu son autorisation de mise sur le marché pour une utilisation chez l'adulte *(lire l'encadré p. 72)*. De plus, alors qu'elle était réservée aux seuls psychiatres hospitaliers, sa prescription pourra désormais être réalisée par n'importe quel médecin. *« On a longtemps pensé que le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) disparaissait à l'âge adulte,* détaille Benjamin Rolland, psychiatre à Lyon. *Mais des études ont fait évoluer cette vision : elles ont montré que les signes persistaient en réalité dans environ 20 % des cas.* » Troubles de l'attention, difficultés de concentration, procrastination, pertes répétées d'objets, prise de parole intempestive, impulsivité, troubles du sommeil, addictions… Le quotidien parfois très lourd et souvent handicapant des personnes atteintes de TDAH n'est donc pas l'apanage des enfants. Si la terminologie est parfois utilisée dans le langage courant pour désigner une simple surexcitation ou des personnalités dont l'agenda est toujours rempli



En empêchant la recapture de la dopamine, le méthylphénidate (Ritaline) favorise la transmission de cette molécule qui stimule les neurones.

ÉMILE LOREAUX/HANS LUCAS

L'hyperactif est parfois comparé à Gaston Lagaffe, cumulant, selon le psychiatre Benjamin Rolland, *« enchaînement d'idées incessantes et incapacité à s'organiser »*.

Le trouble de l'hyperactivité pourrait toucher 1,5 million d'adultes en France

trois mois à l'avance, elle fait en réalité partie depuis 1995 de la classification internationale des troubles psychiatriques. Il s'agit d'un trouble complexe dit neuro-développemental (TND) qui mêle facteurs génétiques, environnementaux et sociaux, décrit dès 1775 dans la littérature médicale. Mais s'il est désormais bien caractérisé dans ses formes pédiatriques (apparition des signes après 3 ans et avant 12 ans), les formes adultes restent mal connues, même des médecins.

Pour Benjamin Rolland, *« il s'agit de patients dont le vécu et celui de leur entourage évoquent parfois celui de Gaston Lagaffe, entre enchaînement d'idées incessantes et incapacité à s'organiser, avec pour finir des profils créatifs et attachants mais peu en phase avec le monde extérieur, et parfois en grande souffrance »*. Chez les adultes comme chez les plus jeunes, le TDAH est toujours un trouble dit circonstanciel, c'est-à-dire dont les symptômes varient selon le contexte : les signes augmentent si le cadre est monotone ou rigide et inversement.

Des demandes de diagnostic en augmentation

Mais jusqu'à présent, au grand dam des associations de patients et des psychiatres, le TDAH chez les adultes n'avait pas d'existence réelle. Ainsi, les patients majeurs en France, à l'inverse d'autres pays européens, n'avaient pas accès jusqu'au printemps au principal médicament destiné aux hyperactifs, le méthylphénidate. C'est aujourd'hui chose faite, bien que son remboursement soit encore à l'étude. Ce psychostimulant agit en inhibant la recapture de la dopamine *(voir l'infographie p. 70)*. Dans la pharmacopée, ce n'est d'ailleurs pas la seule molécule efficace. Outre-Atlantique, en Suisse ou au Royaume-Uni, d'autres choix sont proposés : la lisdexamfétamine et les sels d'amphétamine aux mécanismes similaires, ou l'atomoxétine qui agit sur un autre neurotransmetteur, la noradrénaline.

Aujourd'hui, les demandes de bilan et de diagnostic sont en augmentation. *« Le TDAH de l'adulte est un trouble fréquent, peu connu mais largement*

sous-estimé », affirme Jean-Baptiste Alexanian, psychiatre à Pont-L'Évêque (Calvados). Selon une mise à jour de 2020 des experts de la Fédération mondiale du TDAH, sa prévalence serait de 2,5 % chez les adultes — contre 5,9 % chez les moins de 12 ans. En extrapolant ces chiffres à la France, 1,5 million d'adultes seraient « hyperactifs ». *« Soit trois villes comme Lyon,* précise Caroline Demily, psychiatre dans cette cité. *Mais la maladie souffre encore d'un manque de repérage, ce qui est source pour les patients d'errance diagnostique, de perte de chance et parfois de désocialisation.* ».

Une étude italienne publiée en 2020 dans la revue *Early intervention in Psychiatry* s'est par exemple intéressée au délai nécessaire à l'établissement du diagnostic dans un groupe de 150 patients TDAH non repérés dans l'enfance. Réponse : 17 ans… plus ou moins quartorze ans. Soit, pour certains patients, près de trente ans sans aucun accompagnement ! Selon cette étude, le repérage était d'ailleurs d'autant plus long que la personne était bien insérée professionnellement ou issue d'une lignée également concernée (*« c'est de famille »*). Sans compter une difficulté majeure supplémentaire : l'association très fréquente du TDAH à un trouble du spectre autistique (30 % des cas), à l'anxiété ou à la dépression. Or, comme chez l'enfant, le diagnostic se fait uniquement lors d'entretiens avec le patient. Repérer l'hyperactivité par IRM demeure un sujet de recherche : selon le dernier rapport des experts de la Fédération mondiale du TDAH destiné à la communauté des psychiatres remis en 2020, les petites anomalies observées chez les enfants dans certaines régions cérébrales sous-corticales (petite taille des ganglions de la base, de l'amygdale, l'hippocampe) n'ont pas été retrouvées chez les adultes. *« Le diagnostic repose donc toujours sur des questionnaires facilement utilisables par les médecins généralistes »*, explique Jean-Baptiste Alexanian. Parfois, le recours à un bilan neuropsychologique, une discipline à la croisée entre psychologie clinique et neurosciences cognitives, peut aussi être envisagé, permettant de faire le lien entre un comportement observable et les zones cérébrales.

La question de l'apparition tardive du trouble reste entière

Reste une question : les adultes hyperactifs sont-ils des enfants hyperactifs non repérés ou ont-ils pu développer un TDAH passé leurs 18 ans ? *« Cette notion de TDAH d'apparition tardive est une question scientifique actuellement très débattue »*, reconnaît Benjamin Rolland. Mais aujourd'hui, les arguments et les études ne permettent pas de trancher. En attendant, les psychiatres tentent de répondre aux demandes des patients parfois en grande souffrance personnelle, *« sans chercher à surmédicaliser mais en offrant des réponses personnalisées, adaptées à chaque cas particulier »*, résume le psychiatre. Parmi les aides proposées, les thérapies cognitivo-comportementales, le *neurofeedback,* mais aussi de plus récents programmes dits de remédiation cognitive. *« Il s'agit de méthodes d'entraînement cérébral en cours de développement et d'évaluation en France »*, signale Laure Labaume, psychiatre à Lyon. *Elles sont utilisées par des professionnels formés, le patient seul ou en groupe travaille de manière ludique sa mémoire et son organisation, avec par exemple des plannings à créer et à tenir.* » Sans oublier l'aide à la gestion des émotions exprimées lors de jeux de rôles. Avec la possibilité d'associer un traitement médicamenteux, la prise en charge des adultes hyperactifs prend enfin forme. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

POUR EN SAVOIR PLUS

L'association Fou de Normandie, créée en 2018 par le psychiatre Jean-Baptiste Alexanian, propose plus de 500 vidéos autour du TDAH :
sciav.fr/898tdah

TRAITEMENT

Une posologie délicate à établir

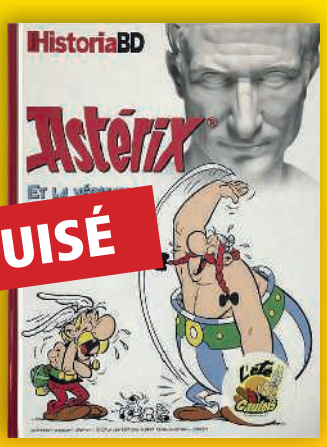
L'histoire de la Ritaline a commencé sur un court de tennis ! Le chimiste suisse Leandro Panizzon, à l'origine de sa synthèse en 1944, aurait testé la molécule sur sa femme, Marguerite (surnommée Rita), adepte de ce sport. Résultat : une rapide amélioration de son jeu du fait d'une meilleure concentration et la naissance d'un nom commercial pour le médicament. Mis sur le marché en France en 1995, le méthylphénidate, un psychostimulant, existe aujourd'hui sous différentes formes (Ritaline, Ritaline LP, Concerta, Medikinet, Quasym) dont les durées d'action varient selon qu'il s'agit de formes à libération immédiate ou retardée. Selon les recommandations en vigueur, le traitement initial se fait à la dose la plus faible possible, la posologie étant ensuite progressivement augmentée par paliers d'une semaine jusqu'à trouver la dose minimale efficace permettant de stabiliser le patient. De possibles effets secondaires imposent une surveillance cardio-vasculaire et psychiatrique.

SHUTTERSTOCK

OFFRE SPÉCIALE

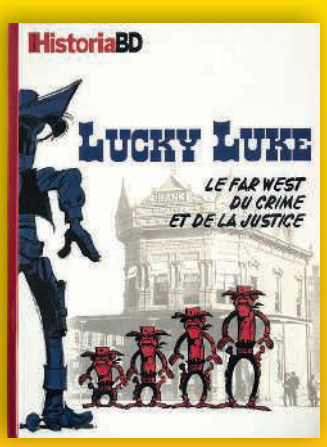
Découvrez notre collection

historia.fr HistoriaBD



ÉPUISÉ

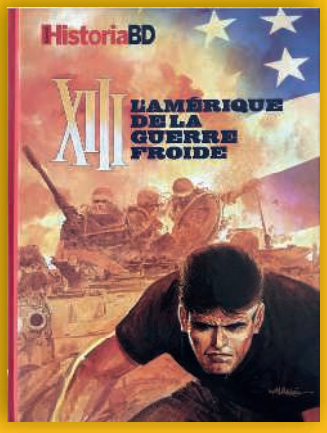
N°1



N°2

N°3

N°4



N°5

Albums couverture cartonnée, format : 22 x 30 cm, 130 pages

Choisissez les numéros qui vous intéressent puis calculez le montant de votre commande à l'aide de notre grille tarifaire ci-dessous.

Merci de retourner ce bon ou de le recopier complété et accompagné de votre chèque bancaire à l'ordre de Éditions Croque Futur à : Historia VPC - 8 rue d'Aboukir - 75002 Paris. commandes@historia.fr - 01 70 98 19 24. Offre réservée à la France métropolitaine uniquement.

1. Choisissez l'album/les albums		Nbre ex.
N° 2	Lucky Luke	
N° 3	Spirou	
N° 4	Murena	
N° 5	XIII	
	Total exemplaires	

2. Joignez le règlement correspondant au nombre d'exemplaires			
1	exemplaire	12,90 €	
2	exemplaires	19,90 €	
3	exemplaires	25,90 €	
4	exemplaires	29,90 €	
5	exemplaires	32,90 €	

HS62

J'indique mes coordonnées ☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle

Nom : Prénom :

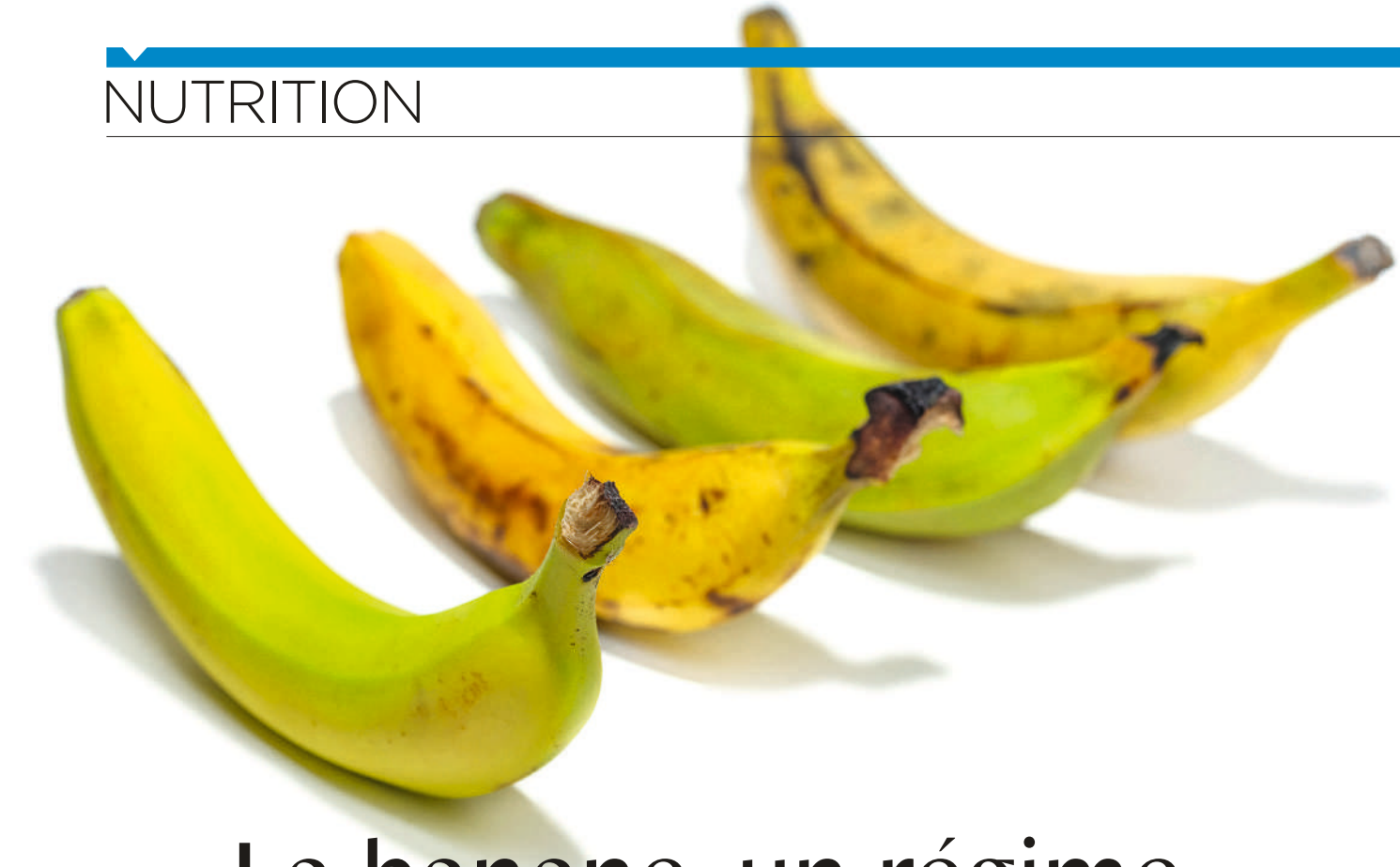
Adresse :

Code postal :

Ville : Téléphone :

Pour une meilleure gestion de votre commande merci de nous indiquer votre email : @

La société Éditions Croque Futur située au 41 bis, avenue Bosquet, Paris 75007, est responsable du traitement et de la collecte des données afin de servir votre commande. Vos données pourront être transmises à d'autres organismes (presse, VAD, caritatif) et sont conservées pour une durée de 3 ans à partir de votre dernier achat. Vous pouvez exercer vos droits d'accès, de rectification, de limitation, de portabilité, d'opposition, d'effacement au traitement des données et définir vos directives post-mortem à l'adresse mail suivante dpo@historia.fr en joignant une copie de votre carte d'identité. La société Éditions Croque Futur dispose d'un délégué à la protection des données pouvant être contacté au 41 bis, avenue Bosquet, Paris 75007, ou à l'adresse mail dpo@historia.fr – À tout moment vous pouvez introduire une réclamation auprès de la Cnil.



La banane, un régime gourmand et énergétique

Ce fruit apporte du tonus à l'organisme et un effet rassasiant qui comble les petites faims tout en aidant à réguler le transit intestinal.

Avec sa couleur jaune vitaminée, la banane donne la pêche ! Issue d'une grande plante herbacée — et non d'un arbre — de la famille des musacées, la Cavendish est la banane dessert la plus répandue sur nos étals. Mais on peut aussi déguster tout au long de l'année la petite naine (Dwarf Cavendish) ou la banane plantain plus longue (25 à 40 cm)… Il en existe entre 1000 et 1500 variétés dans le monde !

Cultivée dans les climats chauds et humides, la banane est devenue incontournable dans nos corbeilles de fruits grâce à ses nombreuses vertus nutritionnelles. En 2019, elle a devancé la pomme pour devenir le fruit préféré des Français, qui en consomment 10 kg par an et par habitant (1).

C'est une mine de potassium

Une banane (100 g épluchée) apporte 320 mg de potassium, la plantain cuite 465 mg (soit près d'un quart des besoins quotidiens, 2 g) et une poignée de 30 g de bananes séchées, 497 mg (2). Le potassium permet la transmission des influx nerveux et la contraction musculaire. Il est aussi utile pour réguler la pression artérielle et réduirait le risque d'accident vasculaire cérébral (3). La banane offre des apports utiles en phosphore (29 mg/100 g) qui, en s'associant au calcium (5,1 mg/100 g), assure la solidité des dents et des os, et contribue aux apports en vitamine B9 (19 microgrammes/100 g). Elle fournit également du magnésium (28 mg/100 g) et couvre 10 % des apports journaliers en vitamine B6, un duo antistress. Elle apporte du tryptophane, un acide aminé indispensable à la production de sérotonine, un neurotransmetteur impliqué dans la régulation de l'humeur et de l'anxiété.

668 000 tonnes de bananes sont commercialisées en France, dont **200 000 t** sont importées de Guadeloupe et de Martinique.
(SOURCE : FRANCE AGRIMER, 2019.)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

PRÉBIOTIQUES Substances dont les bactéries se nourrissent. Grâce à cette source d'énergie, elles parviennent à se multiplier, permettant ainsi d'enrichir le microbiote intestinal.

INDICE ORAC Il permet d'évaluer la capacité d'un aliment à absorber les radicaux libres produits par l'organisme. Plus l'indice est élevé, plus le potentiel antioxydant de l'aliment est important.

FRUCTO-OLIGOSACCHARIDES OU FOS Polysaccharides composés d'une molécule de glucose et de molécules de fructose. Ils ne sont pas assimilables par l'organisme mais sont digérés par la flore intestinale.

Elle apporte divers antioxydants

La pulpe de la banane contient des composés phénoliques variés (acide gallique, catéchine, tanins et anthocyanes) dont la teneur augmente avec la maturation du fruit. Grâce à leurs propriétés antioxydantes, ils freineraient le vieillissement cellulaire et contribueraient à protéger des maladies (4). Selon l'indice ORAC, ce fruit a un pouvoir antioxydant de 795 unités (il est recommandé d'en ingérer entre 3000 et 5000 par jour).

Ses glucides diffèrent selon la maturité

La banane plantain cuite est la plus riche en glucides (28,9 g/100 g contre 19,7 g/100 g pour la Cavendish) qui constituent une source d'énergie progressivement libérée dans l'organisme. Verte, la banane contient principalement de l'amidon résistant, dont la teneur varie en fonction des variétés (23,7 g/100 g pour la plantain contre 3,8 g/100 g pour la Cavendish). Au cours de la maturation du fruit, ce sucre complexe composé à 20 % d'amylose et à 80 % d'amylopectine (5) est converti graduellement en fructose, en glucose et en saccharose, des sucres rapidement assimilables.

Elle fournit des prébiotiques

L'amidon résistant a la particularité d'être un glucide non digestible, autrement dit, il n'est pas absorbé par l'intestin grêle. Dans le côlon, il subit une fermentation bactérienne et il est converti en acides gras à chaînes courtes (AGCC) tels que le butyrate, le propionate et l'acétate, lesquels servent de nourriture aux bactéries. Ces prébiotiques contribueraient à maintenir l'équilibre du microbiote intestinal et amélioreraient la perméabilité de la barrière intestinale. C'est aussi le cas des fibres de la banane verte, essentiellement composées de fructo-oligosaccharides (FOS) et de pectine (α-glucanes), des substances hautement fermentescibles prébiotiques. Les fibres (2,7 g/100 g de banane Cavendish et 9,9 g/100 g de banane séchée) aident également à réguler le transit intestinal et améliorent la satiété.

Des bananes vertes contre le diabète…

Les bananes peu mûres amélioreraient le contrôle de la glycémie et pourraient ainsi mieux réguler ou prévenir le diabète. En effet, l'amidon résistant qu'elles contiennent n'étant pas dégradé sous forme de glucose au cours de la digestion, sa consommation ne provoquerait pas de pics d'insuline (6) *a contrario* des bananes jaunes et tigrées, riches en glucose, fructose et saccharose. Ainsi, plus on tarde à les consommer et plus leur index glycémique (IG) augmente, passant de 45 pour une banane verte à 60 une fois bien mûre.

… et antidiarrhéiques

La présence de fibres et d'amidon résistant dans les bananes vertes pourrait réduire les diarrhées persistantes chez l'enfant. Une des hypothèses exposées par les auteurs de ces travaux est que les acides gras à chaînes courtes stimuleraient l'absorption des liquides et du sel dans le côlon, diminuant ainsi la perte d'eau dans les selles. Ils amélioreraient aussi indirectement la perméabilité du côlon, ce qui contribuerait à soulager les symptômes de la diarrhée (7). ■

Sylvie Boistard @syboistard

DOMINIQUE POULAIN Diététicienne-nutritionniste, experte du sport, à Paris

Avant ou après l'effort

Avec 90 kcal/100 g, la banane n'est pas excessivement calorique. Grâce à sa richesse en glucides (20 %), elle apporte de l'énergie à l'organisme et un effet rassasiant. Avant ou après une séance sportive, c'est un choix de collation pour recharger l'organisme. La banane apporte un peu d'eau (environ 100 ml) et compense les pertes de potassium liées à la sudation. Mais prudence avec les fruits encore verts car, riches en amidon résistant, ils sont moins digestes lors de l'effort.

(1) France Agrimer, 2019.

(2) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(3) Effect of increased potassium intake on cardiovascular risk factors and disease: systematic review and meta-analyses, Aburto NJ. et al, *BMJ*, 2013.

(4) Bioactive compounds in banana and their associated health benefits, Balwinder S. et al, *Food Chemistry,* 2016.

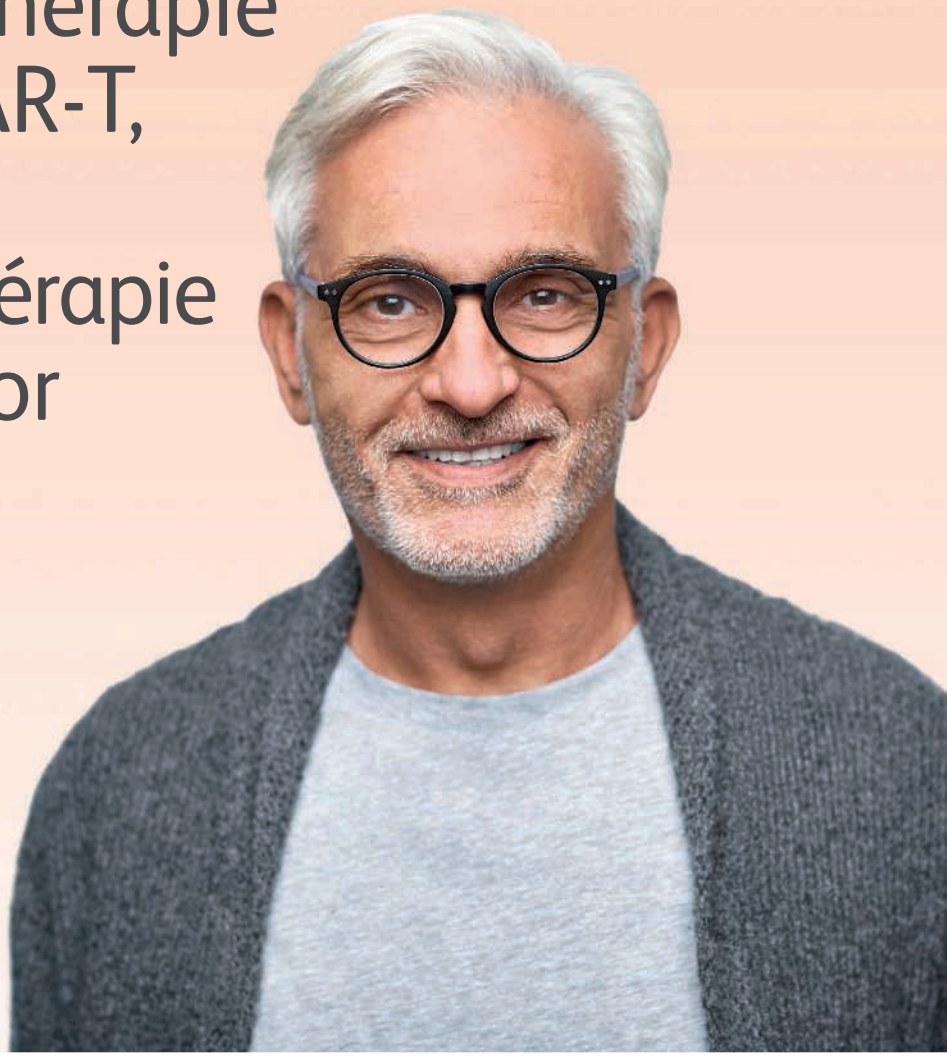
(5) The Starch Is (Not) Just Another Brick in the Wall: The Primary Metabolism of Sugars During Banana Ripening, Cordenunsi-Lysenko BR. et al, *Frontiers in Plant Science*, 2019.

(6) Health effects of resistant starch, Lockyer S. et al, *Nutrition bulletin*, 2017.

(7) Clinical studies in persistent diarrhea: Dietary management with green banana or pectin in Bangladeshi children, Rabbani GH. et al, *Journal of Gastroenterology*, 2001.

Bristol Myers Squibb™

Cancer : la thérapie cellulaire CAR-T, une forme d'immunothérapie en plein essor



En moins de 10 ans, l'immunothérapie a révolutionné la lutte contre le cancer[1]. Parmi ses différentes approches, les CAR-T, qui combinent thérapie génique et thérapie cellulaire[2], constituent une nouvelle source d'espoir dans le traitement de certains cancers du sang, comme les leucémies, les lymphomes et le myélome multiple.
En ce domaine, l'entreprise biopharmaceutique Bristol Myers Squibb est mobilisée pour apporter aux patients des innovations thérapeutiques.

C'est à présent un fait établi : à l'origine du cancer se trouvent des cellules anormales[3] qui prolifèrent de manière incontrôlée, notamment parce qu'elles échappent progressivement à la surveillance de nos défenses immunitaires qui ne parviennent plus à les détruire . En situation normale, il existe des mécanismes pour réguler l'immunité. Mais quand un cancer se développe, les cellules de la tumeur détournent ces mécanismes de régulation. Les lymphocytes T, ces globules blancs « soldats » de l'immunité, sont alors inactivés et les tumeurs échappent à la destruction[4]. Cette découverte scientifique a été à l'origine d'un changement d'approche thérapeutique révolutionnaire.

Qu'est-ce que l'immunothérapie ?

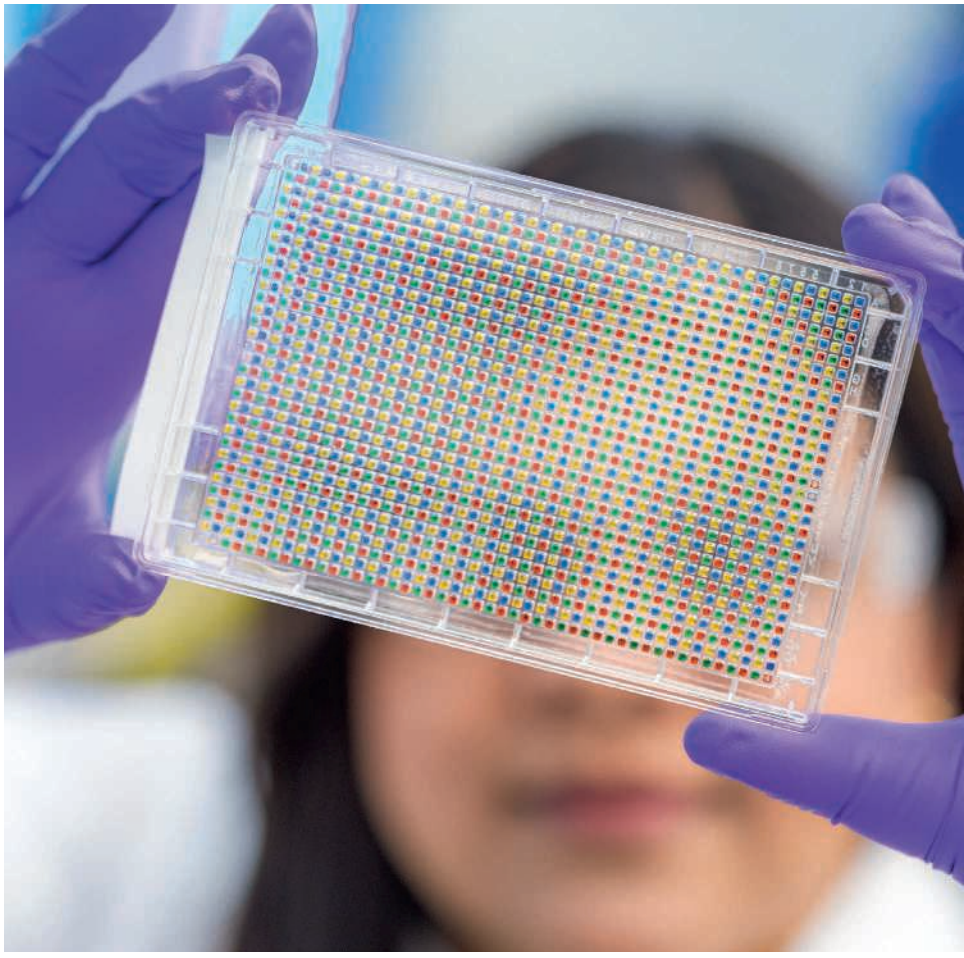
Au lieu de détruire directement les cellules cancéreuses, mais aussi des cellules saines

environnantes, comme le font la radiothérapie, la chimiothérapie et les thérapies ciblées, les immunothérapies visent à « réveiller » le système immunitaire afin qu'il s'en charge. Les lymphocytes T peuvent donc à nouveau reconnaître, attaquer et détruire les cellules tumorales[5].

Des milliers de malades souffrant de mélanome malin, de carcinome à cellules de Merkel, de carcinome épidermoïde cutané (des formes de cancers de la peau), de certaines formes de cancer du poumon, de la vessie, du rein, de cancer de la tête et du cou (de la sphère ORL) ou encore de lymphome de Hodgkin (cancer du sang) ont déjà été ou sont traités par immunothérapie. Chez certains patients, la réponse est durable[6,8] et le cancer est maintenu sous contrôle.

La thérapie cellulaire CAR-T, un nouvel espoir

Parmi les différentes stratégies d'immunothérapie, la plus récente, les CAR-T, consiste à concevoir un traitement unique pour chaque patient à partir de ses propres lymphocytes T. A l'heure actuelle, en France, une vingtaine de centres experts sont habilités à traiter les patients par thérapie CAR-T[7]. Les lymphocytes T du patient sont prélevés par aphérèse[8] (technique de tri des cellules sanguines) et envoyés dans un laboratoire spécialisé (pour le moment, le plus souvent aux Etats-Unis). Les lymphocytes T sélectionnés sont alors modifiés génétiquement pour fabriquer à leur surface des récepteurs spécifiques (« récepteurs antigéniques chimériques », CAR en anglais), qui leur donnent la capacité de reconnaître spécifiquement la tumeur dont le patient est atteint. À ce stade, on ne parle plus de lymphocytes T mais de cellules CAR-T. Ces dernières se multiplient in vitro avant d'être renvoyées à l'hôpital pour être réinjectées



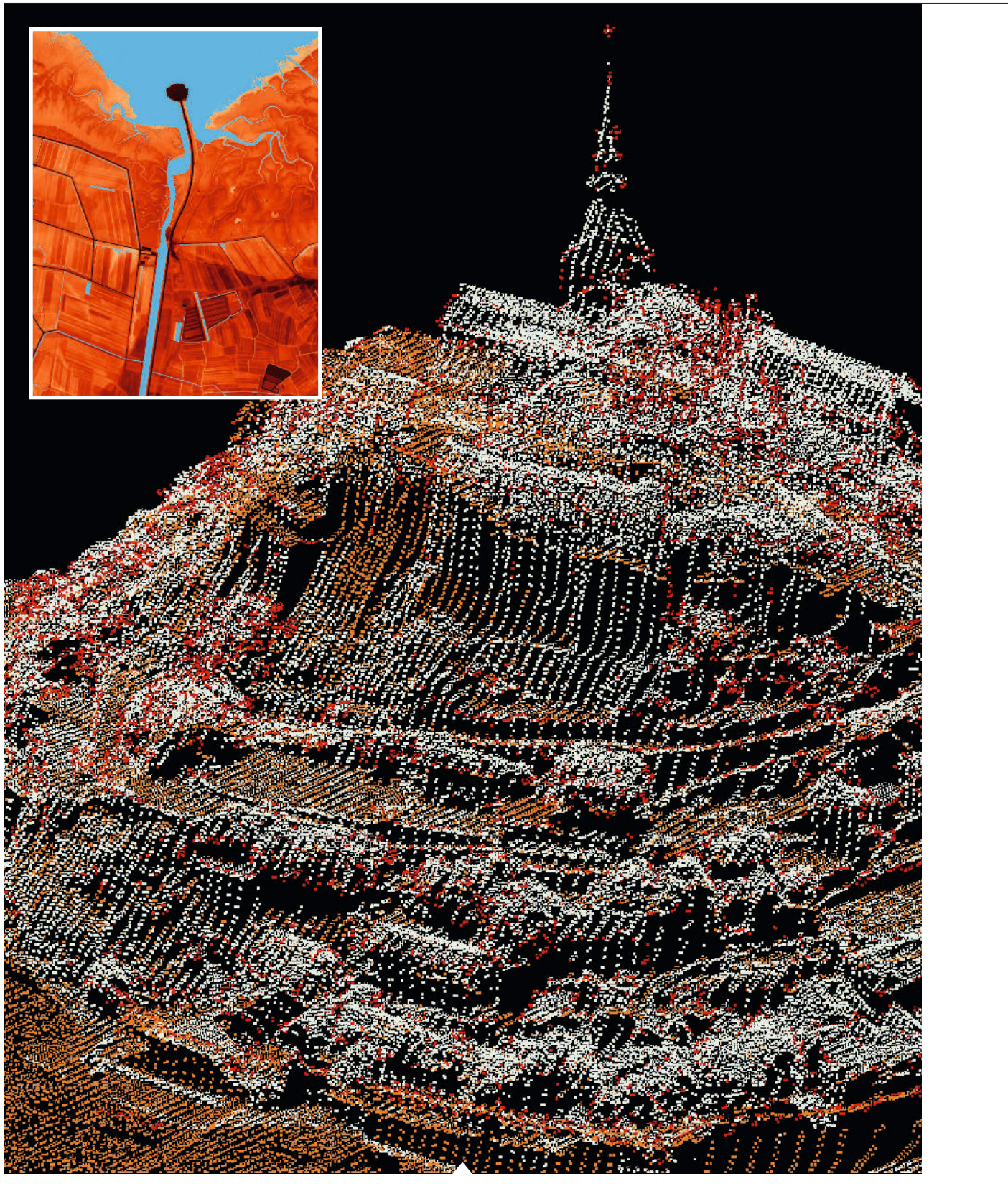
au patient. Une seule perfusion suffit et les CAR-T continuent à se multiplier pour agir dans l'organisme du patient[9,12].

Administrer cette thérapie de pointe requiert des plateaux techniques et des compétences très spécifiques, ainsi qu'une parfaite coordination entre les différents départements impliqués : hématologie, réanimation, pharmacie, neurologie[10]...

Cette forme d'immunothérapie individualisée en est encore à ses prémices et beaucoup de questions scientifiques restent à élucider. Toutefois, avec des résultats parfois spectaculaires, la thérapie CAR-T est porteuse de nouveaux espoirs pour les patients atteints de certains cancers du sang réfractaires aux traitements traditionnels ou en rechute[11,12].

[1] https://www.frm.org/recherches-cancers/immunotherapie
[2] https://www.inserm.fr/information-en-sante/c-est-quoi/sans-mario-c-est-quoi-car
[3] https://www.e-cancer.fr/Comprendre-prevenir-depister/Qu-est-ce-qu-un-cancer/Le-ou-les-cancers
[4] https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Se-faire-soigner/Traitements/Therapies-ciblees-et-immunotherapie-specifique/Immunotherapie-mode-d-action
[5] Institut National du Cancer. Les immunothérapies spécifiques dans le traitement des cancers. Rapport. Mai 2018 (cf page 3, introduction)
[6] Ribas et al., Science 359, 1350–1355 (2018)
[7] https://www.francelymphomeespoir.fr/contenu/comprendre/comment-soigner-un-lymphome/les-car-t-cells (cf question 12 "Les centres agréés en France")
[8] https://www.e-cancer.fr/Actualites-et-evenements/Actualites/REGARD-SUR-les-medicaments-d-immunotherapie
[9] https://www.francelymphomeespoir.fr/contenu/comprendre/comment-soigner-un-lymphome/les-car-t-cells (cf question 6 "Comment se déroule concrètement le traitement avec des CAR-T cells ?")
[10] https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038353958?tab_selection=all&searchField=ALL&query=CAR-T+Cells&page=1&init=true
[11] Rapport d'activité 2019, INCa (p. 19)
[12] https://www.e-cancer.fr/Actualites-et-evenements/Actualites/REGARD-SUR-les-medicaments-d-immunotherapie

HEFR2000934-01 - NP - Octobre 2020



IGN

Le mont Saint-Michel, dans la Manche, fait partie des premiers sites à avoir été inventoriés (ici vu en nuages de points lidar, en haut son emplacement dans la baie, à l'embouchure du Couesnon).

Patrimoine

Le laser va révéler les secrets du sol français

Une ambitieuse mission de l'IGN a pour but de réaliser un relevé laser avec une précision inégalée de la totalité du territoire national d'ici à 2025. Avec, à la clé, la promesse de découvertes archéologiques insoupçonnées.

Par Bernadette Arnaud @ NarudaaArnaud

Mont Saint-Michel, vallée du Rhône, massif des Écrins, Camargue, pont du Gard ou rade de Brest… C'est à un véritable travail de titan que va s'attaquer l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) : cartographier à une échelle de précision inégalée, l'intégralité de la France ! À l'arrivée, les chercheurs comme le grand public auront accès à des données topographiques pour chaque mètre carré du territoire national. *« Il s'agira de la description la plus fine jamais réalisée »*, se réjouit Loïc Gondol, un des responsables de cet ambitieux programme. Rencontré dans son bureau à Saint-Mandé (Val-de-Marne), ce chef de projet a détaillé l'ampleur inédite de cette opération planifiée sur cinq ans (2021-2025). Outre la couverture de l'Hexagone, elle englobera la Corse et des départements d'outre-mer, à savoir la Martinique, la Guadeloupe, La Réunion, Mayotte ou Saint-Pierre-et-Miquelon. *« L'objectif est à terme de mettre à disposition et en libre accès des données de grande précision pour une connaissance fine du sol topographique, et de ce que l'on appelle le sursol. C'est-à-dire tout ce qui se trouve au-dessus du sol, de la végétation aux bâtiments, en passant par les surfaces d'eau ou les ouvrages d'art »*, poursuit le spécialiste. Les données seront acquises depuis un avion, avec un lidar haute densité. Il s'agit d'une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière (laser) renvoyé vers son émetteur après avoir été réfléchi par un obstacle. Il effectuera un relevé de dix points (ou impulsions) par mètre carré. *« Ces données prendront la forme de nuages de points et de modèles numériques de terrain (MNT) en trois dimensions. »*

Des données brutes, sans texturage d'images. À chacun ensuite d'en extraire les informations

pertinentes. Elles permettront entre autres, dans un avenir proche, d'identifier aussi des vestiges archéologiques encore inconnus. Des discussions ont été amorcées auprès de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) pour mieux connaître les besoins et identifier les premiers projets à lancer *(lire l'encadré ci-dessous)*. Déjà en France, le mont Saint-Michel, les arènes de Nîmes ou encore le pont du Gard ont été entièrement inventoriés.

Le lidar, un allié dans l'étude des grandes batailles

C'est aussi grâce au lidar que des archéologues ont pu récemment démontrer que des forêts d'Alsace avaient été mises en culture à l'époque romaine, alors qu'elles étaient censées remonter à un âge plus ancien. De même, parce qu'il permet l'analyse de sites à grande échelle, le lidar sera aussi un allié dans l'étude des grands champs de bataille. Mais ce n'est là qu'un volet des promesses de relevé national. *« Cette initiative s'inscrit dans le cadre du plan France relance, déployé par le gouvernement, pour surtout répondre à des enjeux d'aménagement du territoire comme la gestion des risques ou l'analyse des ressources agricoles et forestières »*, souligne Loïc Gondol. Par exemple, pour aider à la prévention des risques d'inondations. En octobre 2020, les avions de l'IGN avaient déjà effectué en urgence des relevés lidar dans les zones sinistrées par la tempête Alex. Le but était de modéliser les évolutions topographiques des vallées touchées et mettre à jour les plans de prévention des risques. *« L'exploitation de ces nouvelles données permettra de réduire la vulnérabilité de certains territoires en s'appuyant sur des cartographies plus détaillées. À partir des nuages de points, il sera en effet possible de réaliser des modèles numériques de terrain au mètre carré près ! »*, s'enthousiasme Loïc Gondol. Autre application : une gestion plus fine des forêts. *« Ces données nous permettront de connaître les peuplements forestiers à l'échelle de la parcelle et non plus seulement du massif comme c'est le cas aujourd'hui »*, assure l'ingénieur.

3
pétaoctets
soit 3 millions de gigaoctets : c'est le volume estimé des données pour la couverture totale de la France. Un enjeu de taille pour la gestion et le stockage.

Comment le projet va-t-il se dérouler ? D'abord, l'Hexagone a été découpé en 236 carrés de 50 km de côté. *« Ces blocs constituent nos unités d'acquisition et de traitement »*, explique Laurent Cunin, chef de service de l'imagerie et de l'aéronautique à l'IGN. Depuis avril, des avions à bord desquels sont embarqués des capteurs lidar survolent le quart sud-est de la France. L'IGN travaillant avec l'appui de quatre regroupements de sous-traitants, une dizaine d'aéronefs seront mobilisés pendant les cinq ans de l'opération pour acquérir ces données. *« 72 carrés sont sous-traités »*, indique Laurent Cunin. Et l'établissement des programmes de leurs plans de vol est extrêmement précis. Chacun est en effet soumis aux autorisations du contrôle aérien. Avec une veille particulière concernant les conditions météo. *« Les relevés lidar doivent être effectués dans un ciel sans nuage sous l'avion »*, assure l'expert. La veille d'une journée météo favorable, un envoi dit J-1 est ainsi adressé au contrôle aérien pour

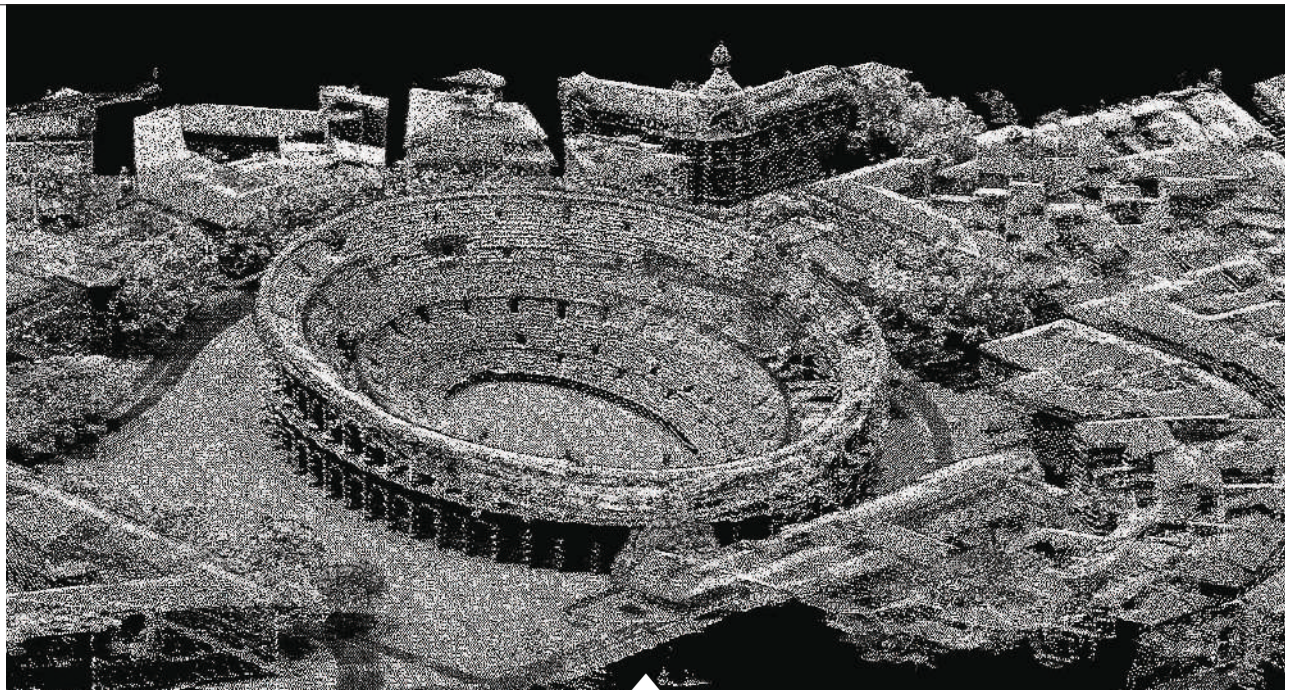
VERBATIM

DOMINIQUE GARCIA PRÉSIDENT DE L'INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES ARCHÉOLOGIQUES PRÉVENTIVES (INRAP)

ÉRIC CABANIS / AFP

« Il est toujours impressionnant de voir surgir des vestiges sous le couvert forestier »

“Le lidar permet de faire des relevés de très grandes surfaces en un temps record. Et il est toujours impressionnant de voir surgir des vestiges sous le couvert forestier, comme cela a été le cas avec les fossés de la ville gauloise de Bibracte, la capitale des Éduens, au pied du mont Beuvray, dans le Morvan. Récemment, nous avons aussi utilisé cette technologie dans le cadre de la restitution d'un ancien pénitencier d'enfants identifié à l'îlet Guillaume dans le département de La Réunion, et sur des sites forestiers en Guyane qui nous ont permis de relever de grands sites comme les montagnes couronnées, de monumentaux aménagements précolombiens. Nous commençons également à l'utiliser en archéologie préventive sous-marine. De même pour des vestiges datant de la Seconde Guerre mondiale. Mais si le lidar est d'un apport considérable, il produit aussi de la complexité qu'il faut ensuite savoir interpréter.”



IGN

Les capteurs lidar embarqués à bord d'avions ont déjà fourni des nuages de points bruts d'une partie du sud-est de la France (ici les arènes de Nîmes).

obtenir une autorisation de plan de vol. Le survol d'un « carré » comportant par exemple une centrale nucléaire ou une zone militaire n'est pas libre. *« Si l'IGN dispose d'autorisations permanentes de survol, de prises d'images ou de relevés lidar partout en France, ce n'est pas le cas des sous-traitants qui doivent procéder à des demandes systématiques »*, précise Laurent Cunin. Il leur sera impossible de survoler l'île Longue (Finistère) si un sous-marin nucléaire en sort. La France comporte de nombreuses Zones interdites à la prise de vue aérienne (Zipva). Ainsi, programmé de façon automatique dans le plan de vol, l'appareil lidar s'interrompra pendant le survol de la zone interdite. D'autres difficultés se poseront lors du survol des massifs montagneux. En haute montagne, pour obtenir de meilleures résolutions des fonds de vallée, un relevé lidar HD prendra soixante-dix heures là où, en plaine, une vingtaine d'heures de vol suffisent. Ce qui multipliera les coûts.

À terme, les données seront accessibles sur Internet

« L'autre grand défi de cette opération pour l'IGN concerne l'hébergement et le stockage des données (nuages de points, modèles numériques de terrain, etc.) dont jamais un tel volume n'a été donné à gérer », révèle Loic Gondol. Les données pour la couverture totale de la France sont estimées à 3 pétaoctets (soit 3 millions de gigaoctets) ! Des accords ont ainsi été passés avec des *clouds* appartenant à l'État français pour leur hébergement. De grands espaces de stockage seront divisés entre le site IGN de Saint-Mandé et celui de Toulouse (Haute-Garonne). Diffusés en accès libre (*open data*), tous ces éléments pourront être à terme consultés sur Internet et téléchargés.

« Ils seront accessibles par le site Géoportail, précise Loïc Gondol. *Et les utilisateurs seront accompagnés pour leur consultation par les services de l'État. »* Par exemple, un préfet désirant connaître la vulnérabilité de tel ou tel secteur pourra faire appel à la direction départementale des territoires (DDT) pour aller rechercher ces données et les faire exploiter par ses spécialistes. Avec ce projet d'un montant de 60 millions d'euros, la France va rejoindre les rares pays européens possédant une telle couverture nationale. À l'instar des Pays-Bas, pour des problématiques d'inondations notamment, ou encore de la Suède. Les Suisses sont également en train de numériser leur espace. Et si l'Angleterre possède un tel recouvrement, ce n'est pas à l'échelle de précision de ce que la France va produire. Le relevé des 38 premiers départements du sud de la France est prévu sur deux ans (printemps-étés 2021/2022). L'ensemble du territoire devrait être couvert d'ici la fin de l'année 2025. ■

LOÏC GONDOL

« À partir des nuages de points, il sera possible de réaliser des modèles numériques de terrain au mètre carré près ! »

Loïc Gondol, coresponsable du programme Lidar HD à l'IGN

Vase d'Autun : sur la piste des premiers chrétiens

Un an après sa découverte, cet objet sculpté dans un seul bloc de verre daté de la fin de l'Antiquité a retrouvé sa splendeur d'antan après une délicate restauration. Mais la nature de son contenu intrigue toujours les archéologues.

Il n'aura fallu qu'une petite année pour que le remarquable vase en verre ouvragé découvert durant l'été 2020 dans une nécropole à Autun, en Saône-et-Loire *(lire* S. et A. *n°887, janvier 2021)*, ne retrouve sa forme et sa somptuosité d'origine. Il faut dire qu'il ne pouvait pas attendre : une fois ce type d'objet sorti de terre, il faut agir vite avant que l'humidité ou les variations de température ne le dégradent de façon irréversible.
Confié en février dernier aux mains expertes de Katja Broschat, restauratrice au Musée central romain-germanique (RGZM) de Mayence (Allemagne), il vient de faire son retour à Autun, cette fois bien à l'abri dans les réserves du musée de la ville. Cette pièce exceptionnelle, tant pour son état de conservation que pour sa virtuosité technique, est ce que l'on appelle un vase « diatrète », ou verre en cage. Un récipient d'apparat dont les ornements, semblables à de la dentelle, ont été sculptés dans le tronçon de verre lui-même, donnant l'impression que le contenu repose dans une cage cristalline.
Produits à la fin de l'époque romaine, autour du IVe siècle, les diatrètes sont des raretés archéologiques : on n'en dénombre que 13 exemplaires complets à travers le monde, dont une infime portion a été découverte en contexte archéologique. Celui-ci, qui reposait seul aux pieds du défunt dans l'une des 230 sépultures de la nécropole, est le tout premier retrouvé dans un territoire de l'ancienne Gaule. On suppose qu'il était installé sur un dispositif aujourd'hui disparu, comme un coussin ou une petite table en bois qui assurait sa stabilité.
Bien que très morcelé lorsqu'il a été exhumé, il présentait tous les éléments nécessaires à sa restauration complète. Un travail d'une minutie extrême, car ses dimensions n'excèdent pas les 15 cm de diamètre pour à peine 13 cm de hauteur. L'inscription latine qui se lit sur tout son pourtour — « *Vivas Feliciter* » (« *Vis en félicité* ») — est intacte. Y compris son étonnant défaut : la lettre C ajoutée ultérieurement, qui détonne par son aspect laiteux, conséquence d'un probable « raté » au cours de la fabrication. Une telle inscription est en outre extrêmement rare *« sur ce type d'objets,* explique Carole Fossurier, archéo-anthropologue à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) et responsable scientifique de la fouille. *Nous avons pensé au départ qu'il s'agissait de "formules à boire" comme on en trouve sur les gobelets de taverne de l'époque, des phrases telles que* « Bibere felix » [« Heureux de boire »]. *Mais le contexte est ici bien différent. Il s'agit*

NÉCROPOLE D'AUTUN

Plus de 230 sépultures fouillées

D'après les premiers éléments issus des plus de 230 sépultures fouillées, la nécropole d'Autun fonctionna du début du IIIe siècle au milieu du Ve siècle, avec une majorité de tombes du IVe siècle. Elle se trouve près de l'église paléochrétienne de Saint-Pierre-l'Estrier, l'une des plus anciennes d'Europe. Si une partie des défunts comptaient parmi les premiers chrétiens de Gaule, des individus issus d'autres religions antiques y seraient enterrés, d'après les traces de libation — offrande faite de vin, d'huile d'olive ou de lait — retrouvées dans certaines sépultures.

HAMID AZMOUN, INRAP

CHRISTOPHE FOUQUIN, INRAP

BERENICE BETEND-DESGRANGES, INRAP

La rénovation du vase (à gauche) mis au jour dans une tombe de la nécropole antique d'Autun (ci-dessus et en haut) a révélé qu'il avait contenu de l'ambre gris, une substance rare.

de la tombe d'un individu prestigieux, laissant peut-être entendre que l'usage du vase a été détourné pour lui donner une symbolique religieuse. »

La plus ancienne trace d'utilisation de l'ambre gris

L'usage des vases diatrètes reste à ce jour bien mystérieux pour les archéologues. Assurément, ils étaient liés à des personnalités proches du pouvoir impérial. S'agissait-il de cadeaux diplomatiques ? d'objets en relation avec le concile des évêques ? « *On peut imaginer qu'ils étaient offerts aux évêques à l'issue du concile, ou bien que ces derniers souhaitaient s'offrir ce genre de vases une fois rentrés chez eux. Mais tout ceci reste très hypothétique, car aucun texte ne fait mention de telles pratiques* », avance avec prudence Carole Fossurier. Du bout des lèvres, elle s'autorise tout de même une opinion : « *Je crois que le contenu était plus important que le contenant.* »

Et pour cause : dans le vase retrouvé à Autun, des analyses d'imprégnation ont permis de mettre en évidence les ingrédients d'une mixture dont il était rempli au moment de l'inhumation. Ont été ainsi détectés un mélange d'huiles, des plantes et des fleurs mais surtout de l'ambre gris, ou ambre de baleine, un produit extrêmement rare et précieux qui n'est autre que de la concrétion intestinale de cachalot. D'après Thierry Buquet, chercheur au Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales (Craham) et spécialiste de l'histoire de la substance, la plus ancienne mention connue d'ambre gris remonte au tournant du Ve et du VIe siècle, chez un médecin grec du nom d'Aetius d'Amide. Dès lors, ce vase diatrète devient la plus ancienne preuve archéologique de l'utilisation de cette substance d'exception ! Aetius d'Amide évoque l'ambre de baleine comme le composant d'une recette de « nard », un parfum destiné à l'église. Collecté sur les plages, il aurait été utilisé comme un liant pour ce type de fragrances.

La tombe dans laquelle le vase a été trouvé serait-elle donc celle de l'un des premiers évêques de France ? « *C'est tentant de le dire, mais nous avons encore trop peu d'éléments pour l'affirmer* », tempère Carole Fossurier. Reste que les textes anciens nous indiquent que les premiers évêques d'Autun étaient inhumés dans ce vaste espace funéraire de 3 hectares. Hélas ! les ossements du personnage ne parleront pas d'avantage : très fragmentaires, ils ne contiennent plus assez de collagène pour espérer une datation au carbone 14. ■

Marine Benoit @marin_eben

CADEAUX HIGH TECH SPÉCIAL NOËL

Nomade attitude

À l'heure où le travail à distance et la mobilité s'efforcent de rimer avec efficacité et bien-être, les technologies se font de plus en plus malignes et utiles. De la tablette qui tient dans la main à la montre connectée qui monitore notre santé, en passant par l'appareil photo qui imprime les clichés à la volée, le casque à réduction de bruit ambiant ou le pistolet de massage qui prend soin des tensions musculaires au quotidien, les objets high-tech s'adaptent à l'air du temps. À l'approche des fêtes de Noël, voici une sélection de cadeaux astucieux à utiliser chez soi ou en déplacement.

DOSSIER COORDONNÉ PAR Caroline Brun, Agence Forum News
RÉDACTION : William Coop-Phane

Bulle sonore

▶ Léger et ultra-confortable, ce casque à réduction de bruit propose un mode silence qui vous coupe du monde environnant et un mode *aware* (attentif) qui laisse passer les bruits ambiants, adapté aux balades en ville. Ses microphones garantissent des conversations limpides et son autonomie (24 heures en mode silence en une seule charge) en fait une référence.

Bose QuietComfort 45. Prix indicatif : **349,95 €**

Couteau suisse

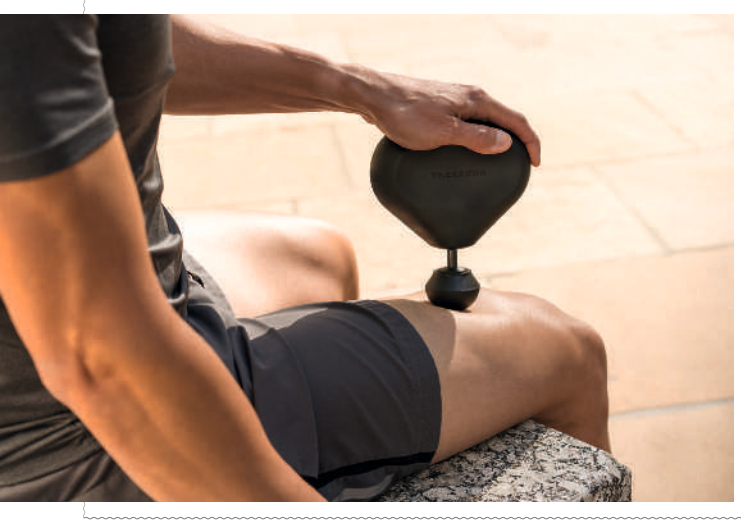
▶ Dotée d'un écran 7 pouces, cette station fait à la fois office de panneau de contrôle pour piloter sa maison connectée, d'assistant vocal, d'enceinte d'appoint, de cadre numérique et de réveil-matin avec simulateur d'aube. En bonus, une fonction sommeil qui vous fait glisser dans les bras de Morphée au son de bruits zen (vent dans la forêt, murmures d'un ruisseau, flots de l'océan…). Grâce à ses radars et micros, elle traque vos mouvements, votre respiration, vos toux et ronflements et vous présente au réveil un bilan complet de la nuit.

Google Nest Hub 2e génération. Prix indicatif : **99 €**

Pistolet bien-être

▶ Avec ses 40 percussions à la seconde, ce mini-pistolet de massage se fait fort de dénouer les tensions et de soulager les douleurs musculaires. Il améliorerait aussi le sommeil. Il s'accompagne d'une application très pédagogique qui recense une centaine de programmes prêts à l'emploi (récupération sportive, télétravail, syndrome du canal carpien, *jet lag*, mal de dos, détente…). Le plus : la possibilité de créer des traitements sur mesure, en fonction de ses besoins ou douleurs.

Therabody Theragun mini. Prix indicatif : **199 €**



Montre haute précision

▶ De nombreuses technologies liées à la santé de cette montre connectée empruntent les codes horlogers traditionnels. Capable de lire la température et d'avertir en cas de fièvre ou d'hypothermie, elle sait aussi mesurer la fréquence cardiaque, analyser le taux d'oxygène dans le sang et scruter le sommeil. Le volet *fitness* est tout aussi étoffé : la montre reconnaît une centaine d'activités sportives et affiche une autonomie de trois jours.

Huawei Watch 3 Classic. Prix indicatif : **399 €**

bouygues TELECOM

BETC Bouygues Telecom – Société anonyme au capital de 819 698 624,76 € – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS.

À Noël, offrez un cadeau qui durera plusieurs Noëls.

Un smartphone à Noël c'est bien, un smartphone qui dure, c'est mieux.
Avec les Solutions Smartphone Durable, Bouygues Telecom réserve à ses clients Forfait Sensation un **tarif préférentiel sur la réparation** de leur smartphone.
Rendez-vous sur bouyguestelecom.fr/smartphone-durable

solutions smartphone durable
RÉPARÉ · REPRIS · RECONDITIONNÉ · RECYCLÉ

en boutique | bouyguestelecom.fr

Offre réservée aux Forfaits Sensation avec engagement 24 mois. Réduction deux fois par an auprès de notre partenaire pour les réparations hors garanties. Conditions sur bouyguestelecom.fr.
Kit mains-libres recommandé.

Smartphone pliant

▶ Inutile de déplier ce smartphone à clapet, un coup d'œil à son écran de couverture peut suffire. Celui-ci affiche l'heure, les notifications, et permet entre autres de contrôler sa musique ou d'enregistrer un mémo vocal. Mais ouvert, le téléphone affiche une diagonale de 6,7 pouces. Côté photo, il embarque un capteur frontal de 10 mégapixels et deux capteurs de 12 mégapixels dédiés au grand-angle et à l'ultra-grand-angle. Son mode *flex* (plié en L et posé sur une surface plane) est un atout pour les appels vidéo en mode mains libres.

Samsung Galaxy Z Flip 3.
Prix indicatif : **à partir de 1059 € (modèle 8 Go de RAM et 128 Go de stockage interne)**

Enceinte vintage

▶ Inspiration rétro pour cette enceinte multidirectionnelle au son riche et enveloppant malgré sa taille compacte (9,4 x 9,4 x 19 cm). Aussi performante en intérieur qu'à l'extérieur, elle affiche une autonomie de 15 heures et peut être associée en mode Bluetooth à une deuxième enceinte identique, pour profiter d'un son stéréo.

Roberts Radio Beacon 335.
Prix indicatif : **199,99 €**

Santé au poignet

▶ Ce traceur d'activité intègre toutes les caractéristiques d'une *smartwatch* dernier cri : GPS, ECG, SpO_2, capteur d'activité électrodermale pour évaluer le niveau de stress, suivi du sommeil… Un « score d'aptitude quotidienne » prend en compte le rythme cardiaque, le temps de sommeil et les minutes en zone active pour adapter ses objectifs de la journée à sa forme.

Fitbit Charge 5. Prix indicatif : **179,95 €**

Écran nomade

▶ Facile à transporter avec son écran tactile de 10,5 pouces, la Surface Go 3 est à la fois une tablette et un ordinateur portable, à condition d'investir dans un clavier dédié (une centaine d'euros). Équipé de la dernière version de Windows (Windows 11), ce produit 2 en 1 dispose d'une batterie qui tient une journée entière et peut s'utiliser avec un stylet, disponible en option également.

Microsoft Surface Go 3. Prix indicatif : **à partir de 439 € (4 Go de RAM et 64 Go de stockage interne)**

Tirages instantanés

▶ Ludique et créatif, cet appareil photo 8 mégapixels avec fonction imprimante intégrée permet d'ajouter des filtres et de personnaliser les bords de l'image, façon Instagram, avant d'imprimer les clichés sous la forme d'autocollants ronds. Son espace de stockage de 512 Mo peut être augmenté à l'aide d'une carte micro SD, ce qui permet de photographier à loisir, même lorsqu'on est à court de papier.

Canon, Zoemini S2. Prix indicatif : **169,99 €**

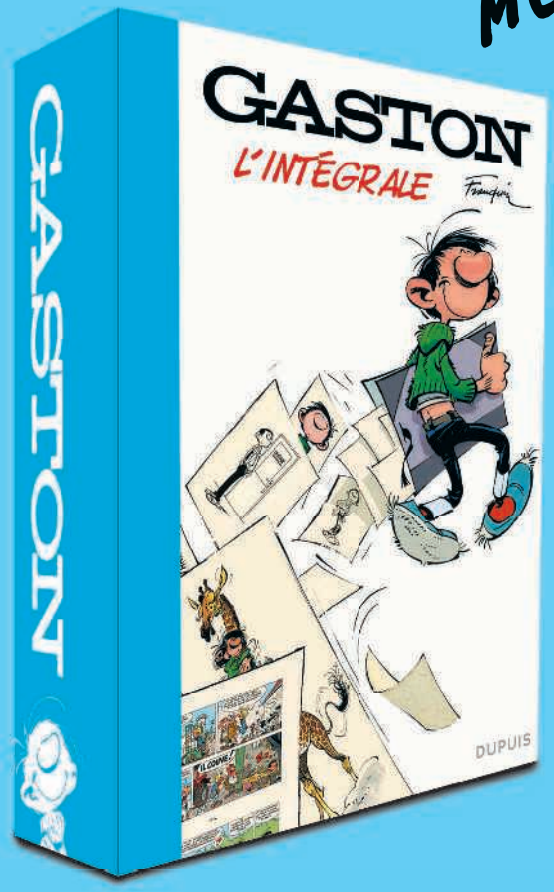
Tablette de compétition

▶ Avec son écran de 8 pouces, c'est un ovni parmi les tablettes : la seule qui tienne dans une main. Dopée au processeur de l'iPhone 13, cette sixième version de l'iPad mini s'offre un module photo de 12 mégapixels avec flash et une caméra frontale ultra-grand-angle avec la fonction cadre centré. Son rôle : garder la personne dans le champ, même lorsqu'elle se déplace. Pratique pour les appels en FaceTime ou les réunions en visio.

Apple iPad mini. Prix indicatif : **à partir de 559 € (version Wi-Fi)**

M'ENFIN?!

ÉDITION INTÉGRALE 79€



22 ALBUMS

À OFFRIR OU À S'OFFRIR !

© Dargaud-Lombard 2021

L'INTÉGRALE GASTON tirage limité

Retrouvez dans cette intégrale les 22 albums de *Gaston* comprenant toutes les planches réalisées par André Franquin, remasterisées et recoloriées, dont certaines inédites. L'occasion de redécouvrir ce personnage rêveur et inventif, l'un des plus fameux de toute la bande dessinée. Format 193 × 250 mm – 1112 pages.

BON DE COMMANDE L'OBS

À retourner accompagné de votre règlement à : L'Obs – Gaston – 67/69 avenue Pierre Mendès-France – CS 51402 – 75647 Paris cedex 13.

	Référence	Qté	Prix	TOTAL
L'intégrale *Gaston*	19626		**79 €**	**€**
Frais de participation aux frais d'envoi				**+ 0,50 €**
Total de ma commande				**€**

• Délai de livraison 2 semaines maximum • Offre valable en France métropolitaine.

❑ Je règle par CHÈQUE à l'ordre de : L'OBS

ADRESSE DE LIVRAISON :

☐ Mme ☐ M.

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

_____

Code Postal : _____ Ville : _____

Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 30 juin 2022. En retournant ce formulaire, vous acceptez que l'Obs, responsable de traitement, utilise vos données personnelles pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions marketing sur ses produits et services. Pour connaître les modalités de traitement de vos données ainsi que les droits dont vous disposez (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http/www.nouvelobs.com/donnees-personnelles.php ou écrivez à notre Délégué à la protection des données – 67/69 avenue Pierre Mendès-France – 75647 Paris cedex 13 ou dpo@groupelemonde.fr

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 88

▶ C'est à voir
p. 92

▶ Le ciel du mois
p. 93

▶ Chroniques
p. 94

▶ Questions de lecteurs
p. 96

▶ Solutions des jeux
p. 97

▶ Jeux
p. 98

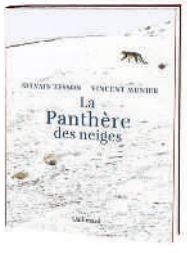
VINCENT MUNIER

À l'est du Tibet à 5000 m d'altitude, Vincent Munier a pu saisir dans son objectif le très rare félin.

À l'affût du monde sauvage

Le photographe Vincent Munier embarque l'écrivain Sylvain Tesson dans sa quête d'un animal mythique menacé : la panthère des neiges.

VOYAGE L'écrivain, coutumier des traits d'humour, aurait pu titrer cela « *Du terrier du blaireau au royaume de la panthère* »… L'impatient et bavard Sylvain Tesson accompagnait un soir le taiseux et contemplatif photographe Vincent Munier dans la forêt, à l'affût du mammifère dodu. Assailli par le bonheur que la vision d'un animal sauvage infuse, l'habitué des soirées mondaines accepte l'invitation du solitaire amateur des grands espaces.



Flanqué d'un ami philosophe en aide de camp et de sa fiancée réalisatrice de films, Munier embarque Tesson — leurs noms de famille lancés en guise de prénoms tout le long du voyage — dans sa quête d'un animal mythique : la panthère des neiges. Les hauts plateaux du Tibet sont le décor de leur aventure. Tesson la raconte d'une plume intense dans cet ouvrage enrichi de photos qui prolonge le roman éponyme paru en 2019. Son récit est truffé de géographie, d'histoire, de zoologie et de souvenirs.

Les heures immobiles d'affût l'encouragent à la divagation, à la prise de conscience, sur fond d'admiration envers Munier, qui célèbre la nature en se fondant en elle si harmonieusement. On grimpe, on s'installe dans le froid, l'œil vissé à la longue-vue. Passent les yacks, les antilopes du Tibet, le chat de Pallas, les loups… Le photographe répond à leur chant. Et on guette la panthère sur les crêtes grises maculées d'ocre. Elle viendra récompenser de son apparition fulgurante la patience des humains. Ce livre dont le texte joue le contrepoint d'une fabuleuse mélodie visuelle est le théâtre de rencontres hypnotiques, rendues par l'inimitable regard de Vincent Munier, qui effleure à peine, avec grâce, le monde sauvage. ■

Andreina De Bei

La Panthère des neiges, Sylvain Tesson, Vincent Munier, Gallimard, 240 p., 29,90 € *La Panthère des neiges* est aussi un film, coréalisé par Marie Amiguet et Vincent Munier. En salle le 15 décembre.

Une autre histoire du territoire

ARCHÉOLOGIE Dans ce livre choral qui couvre vingt ans d'activité et l'étude de

plus 50 000 sites, les archéologues de l'Inrap ont souhaité revenir sur ce qui a concouru à la « Fabrique de la France ». Pour Dominique Garcia, son président, *« dans un moment médiatique où il n'a jamais été autant question d'histoire, de civilisation, de migration ou d'identité, il était important de montrer, loin du roman national, comment derrière des mots souvent galvaudés, les apports récents de l'archéologie — dans l'Hexagone autant que dans les Outre-mer, constituent de nouveaux repères collectifs pour le bien commun »*. ■ **B. A.**

La Fabrique de la France, sous la direction de Dominique Garcia, Flammarion, 320 p., 29 €

L'enjeu de la restitution des œuvres d'art

DÉCRYPTAGE *« Prise de guerre, pillage, spoliation, saisie, confiscation… nombreux sont les mots pour désigner le déplacement des œuvres d'art dont l'histoire est émaillée depuis l'Antiquité jusqu'à l'actuel trafic illicite des biens culturels, en passant par les guerres et la colonisation des territoires »*… Pour la première fois, un docteur en droit et historien de l'art aborde la question des « restitutions » sous les aspects du droit, de la linguistique et de l'histoire. Un état des lieux et un retour aux fondamentaux qui éclaire la réalité de ces enjeux patrimoniaux. Passionnant. ■ **B. A.**

Restitutions. Une histoire culturelle et politique, Pierre Noual, Belopolie, 431 p., 23,50 €

L'exploration spatiale

ÉCHAPPÉES Les images sont sublimes, fascinantes. Et, originalité de l'ouvrage, elles concernent aussi bien des photographies d'objets célestes et des documents

historiques que des illustrations de science-fiction. Car les auteurs — l'un astrophysicien, l'autre spécialiste de vulgarisation scientifique — commentent les grandes étapes passées et à venir de l'exploration spatiale en confrontant l'imagination des romanciers aux avancées technologiques et découvertes des astronomes. ■ **F. D.**

L'Humain dans l'espace, entre réel et fiction, Roland Lehoucq et Florence Porcel, La Martinière, 216 p., 35 €

Intelligences connectées

NEUROFEEDBACK Richard Powers (auteur de *L'Arbre monde*) nous offre un roman plein d'humanité. Après la mort de sa femme, l'astrobiologiste Théo Byrne élève seul le petit Robin, qui souffre de troubles du comportement et voue une passion démesurée aux animaux. Son père finit par se résoudre à le soumettre à la

technique du *neurofeedback*, afin qu'il apprenne à gérer ses émotions en les calquant sur celles d'autres cerveaux par le biais d'une intelligence artificielle. Il sera ainsi confronté à l'enregistrement des perceptions de sa mère, qui avait auparavant participé à l'expérience… Bouleversant. ■ **A. De B.**

Sidérations, Richard Powers, Actes Sud, 400 p., 23 €

La mosaïque du génome humain

DIVERSITÉ Ils sont précieux, ces livres qui savent parler de recherches scientifiques en conjuguant clarté, précision et sens de la narration. L'ouvrage du biologiste Lluís Quintana-Murci est de ceux-là. Le sujet ? La génétique des populations et ses histoires de séquençage à haut débit, de variants génétiques… Grâce à cette discipline, nous avons revisité notre connaissance du peuplement humain de la planète. Nous avons aussi pris la mesure de la fantastique diversité génétique humaine actuelle et de son évolution : le génome de chaque individu est une mosaïque unique, *« le produit de plus de 200 000 ans d'histoire comme espèce, avec à la fin environ 60 000 ans de voyages et de rencontres multiples »*. Grâce à elle, encore, il devient possible de jeter les bases d'une médecine capable de prévoir quels médicaments seront les plus efficaces pour chaque patient. Une épopée passionnante entre passé, présent et futur. ■ **Vincent Glavieux**

Le Peuple des humains, Lluís Quintana-Murci, Odile Jacob, 336 p., 23,90 €

Des maths partout

DÉMYSTIFICATION À quoi peuvent bien servir les mathématiques ? À tout ! C'est ce qui ressort de la lecture du volumineux ouvrage dû à deux passionnés, le statisticien Avner Bar-Hen et le cinéaste Quentin Lazzarotto, qui a longtemps travaillé au service vidéo du prestigieux institut Henri-Poincaré consacré aux recherches mathématiques. Le résultat de cette rencontre improbable : un livre passionnant, touffu et difficile à résumer en quelques lignes… On y rencontre des personnages du passé, tels l'inclassable Srinivasa Ramanujan qui voyait les nombres en songe, Florence Nightingale, qui comprend comment les statistiques peuvent aider le domaine du soin… mais aussi des mathématicien(nes)s contemporain(e)s. Les titres des quatre parties de l'ouvrage — dénombrer, prévoir, coder et créer — laissent entrevoir toute l'étendue de cette discipline. Agrémenté d'une riche iconographie, c'est sans conteste un « beau » livre à offrir en cette fin d'année. ■ **Philippe Pajot**

Dingue de maths. Du penalty à la météo, décoder le réel, d'Avner Bar-Hen et Quentin Lazzarotto, EPA, 352 p., 35 €

Le numérique au féminin

INSPIRANTES Cela fait plus de 150 ans qu'Ada Lovelace a réalisé le tout premier programme informatique, mais beaucoup s'imaginent encore que le numérique est réservé aux hommes. Une bande dessinée, *Les Décodeuses du numérique*, s'attache à déconstruire ce stéréotype en croquant le portrait de 12 chercheuses, enseignantes ou ingénieures. Elles évoquent les outils et les objectifs de recherche de cette science et reviennent sur leur parcours, souvent semé d'embûches. Plus austère, mais également inspirant, l'annuaire *Elles changent le monde* assemble les interviews et portraits de 60 femmes de la tech qui innovent dans leur entreprise, avec leur start-up, ou par leurs engagements. Ce livre est à l'initiative de Delphine Remy-Boutang, fondatrice de la Journée de la femme digitale, un réseau paneuropéen et panafricain qui connecte les femmes du secteur. ■

Rachel Mulot

Les Décodeuses du numérique, Léa Castor, Célia Esnoult et Laure Thiébault, CNRS éditions, 64 p., 6 €.
Elles changent le monde, Delphine Remy-Boutang, JFD/Art Kids Company, 196 p., 20 €

Le défi de la vulgarisation

BD Expliquer la relativité générale d'Einstein, la forme de l'Univers, les trous noirs avant de plonger au cœur de la matière… Quel défi ! Mais Laurent Schafer réussit à ne jamais perdre le lecteur en route grâce à son sens exceptionnel de la vulgarisation, et son humour. C'est l'occasion de comprendre des notions délicates, et de se confronter à des problèmes concrets. Rappelant que les communications sont limitées par la vitesse de la lumière, il remarque à quel point le dialogue sera difficile entre la Terre et une base martienne. Une fois votre question posée, comptez jusqu'à 40 minutes pour une réponse ! ■ **F. N.**

Infinix, de l'infini cosmique à l'infini quantique en BD, Laurent Schafer, Dunod Graphic, 144 p., 17,90 €

Contre l'extinction de masse

ÉCOLOGIE Le sort de l'azuré de la sanguisorbe et celui de l'ours brun ne sont pas enviables. Le plantigrade et le papillon figurent sur la liste rouge des espèces menacées du comité français de l'UICN. Le responsable de cette liste, Florian Kirchner, reprend dans cet ouvrage l'histoire de ces animaux qui pourraient disparaître en France. Et l'un de ses intérêts est de faire parler les écologues qui se consacrent à la préservation de ces espèces. ■ **L. C.**

Faune Fragile, Florian Kirchner, illustrations Sandro, Oteria, 144 p., 24 €

Chimie de l'attachement

HORMONE Le coup de foudre passager comme le sentiment durable seraient une combinaison d'interactions moléculaires orchestrée par nos gènes, notre histoire et notre environnement, explique Marcel Hibert. Directeur du Laboratoire d'innovation thérapeutique de Strasbourg, il a découvert le rôle de l'ocytocine dans la fidélité chez les campagnols et lui a consacré vingt ans de recherches. Déclenchant la lactation, l'accouchement, participant aux liens tribaux, sociaux ou filiaux, capable de moduler nos sentiments, l'ocytocine suscite aujourd'hui de grands espoirs pour le traitement de plusieurs troubles, notamment l'autisme. ■ **R. M.**

Ocytocine mon amour, Marcel Hibert, HumenSciences, 288 p., 19 €

Grandeur et décadence des sciences arabes

ÂGE D'OR C'est l'histoire complexe d'un *« je t'aime, moi non plus »* entre l'islam et les sciences que retrace sans concession la physicienne Faouzia Farida Charfi, professeure à l'université de Tunis. Elle y raconte notamment l'âge d'or des sciences arabes qui se déploie du VIIIe au XIe siècle dans un Bagdad encore multiculturel. Jusqu'à leur récupération progressive par le dogme. Depuis lors, rappelle la chercheuse, l'islam a surtout cherché à imposer un concordisme prétendant que toute la science est déjà prédite dans les textes coraniques. ■ **H. J.**

L'Islam et la Science. En finir avec les compromis, Faouzia Farida Charfi, Odile Jacob, 240 p., 22,90 €

Énergies et climat

BD Nos sociétés se sont développées en utilisant toujours plus d'énergie. En comparant la puissance des machines avec l'énergie fournie par la force musculaire, *« c'est comme si chaque Terrien avait à peu près 200 esclaves qui bossaient pour lui en permanence. Sans machine, il faudrait faire travailler 1400 milliards de Terriens pour avoir la même production »*, détaille Jean-Marc Jancovici, consultant en énergie et coauteur de cette bande dessinée. Et les énergies renouvelables ne sont pas près de changer la donne : de 1995 à 2018, la consommation de charbon a augmenté 12 fois plus que le solaire et cinq fois plus que l'éolien ! Avec les conséquences que l'on connaît : réchauffement climatique, épuisement des ressources, etc. Jean-Marc Jancovici et le dessinateur Christophe Blain nous expliquent de manière didactique les enjeux économiques, écologiques et sociétaux liés à la question de l'énergie et au changement climatique. Un pavé à dévorer dans la foulée de la COP26. ■ **Sylvie Rouat**

Le Monde sans fin, Christophe Blain, Jean-Marc Jancovici, Dargaud, 195 p., 27 €

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs chaque jeudi de 17H30 à 19H sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCA

EXPOSITIONS

Le Bourget (93)

Star Trek : First Contact Experience
Le musée de l'Air et de l'Espace propose un jeu en réalité augmentée, avec le smartphone du visiteur, pour parcourir l'histoire de la conquête de l'espace.
Le hall est transformé en terrain d'exploration ludique, où chaque étape implique un objet, un véhicule, une technologie.
Musée de l'Air et de l'Espace, aéroport de Paris-Le Bourget, jusqu'au 31 décembre.
Rens. : 01.49.92.70.00.

Louvain (Belgique)

BOUM ! Le festival du Big Bang
La théorie du Big Bang comme origine de l'Univers a été lancée par un enseignant de KU Leuven, l'une des deux universités de Louvain, au début des années 1930. Elle est célébrée par un festival.
Expositions, conférences, balades urbaines, concert à 360° font le lien entrent sciences, art et culture.
Kunst Leuven VZW, naamsestraat 96, jusqu'au 30 janvier 2022.
Renseignements : sciav.fr/898boum

Lyon (69)

Sur la piste des Sioux
Films, peintures, livres ont fini par résumer la figure de l'Indien d'Amérique à un guerrier à plumes et calumet dans son tipi. C'est-à-dire aux Sioux. S'appuyant sur des archives, des objets traditionnels comme des publicités ou des films, cette exposition dévoile un travail iconographique permettant d'expliquer comment ce peuple a fini par incarner à lui seul « l'Indien ». (Lire notre article : sciav.fr/898sioux)
Musée des confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 28 août 2022.
Rens. : 04.28.38.12.12.

Paris (75)

Palais disparus de Napoléon
Le palais des Tuileries et les châteaux de Saint-Cloud et de Meudon étaient les résidences privilégiées de Napoléon. Le Mobilier national expose 350 pièces (meubles, tapisseries, bronzes) qui garnissaient les appartements de l'empereur et de l'impératrice Marie-Louise. Reconstitutions numériques et réalité virtuelle permettent de se plonger dans les décors de l'époque.
Mobilier national, galerie des Gobelins, 42, avenue des Gobelins, jusqu'au 15 janvier 2022.
Rens.: 08.25.05.44.05.

Au-delà du réel
Le numérique et les nouvelles technologies sont au cœur de Nemo, la biennale des arts numériques de la région Île-de-France. Dans ce cadre, cette exposition regroupe des œuvres représentant des données invisibles : ondes et pollution, traces d'ADN, sons des activités sismiques ou humaines, emprise de la ville technologique.
Centquatre Paris, 5, rue Curial, jusqu'au 9 janvier 2022.
Rens. : 01.53.35.50.00.

Toulouse (31)

La Déconniatrie. Art, exil et psychiatrie autour de François Tosquelles
Installé dans un hôpital de Lozère pendant l'occupation, le docteur catalan François Tosquelles (1912-1994), réfugié en France après la guerre d'Espagne, renouvelle la pratique de la psychiatrie en favorisant l'expression artistique. Cette exposition revient sur cette histoire méconnue, présentant objets, archives, photos, y mêlant une réflexion sur l'exil et la psychiatrie.
Les Abattoirs, 76, allées Charles-de-Fitte, jusqu'au 6 mars 2022.
Rens. : 05.34.51.10.60.

Versailles (78)

Les animaux du roi
Sous l'Ancien Régime, le château de Versailles grouillait d'animaux, du chien au singe, sans compter le gibier du parc, les chevaux des écuries royales et la ménagerie aujourd'hui disparue. Cette exposition les fait revenir sous forme de peintures, sculptures, naturalisations… et même de squelette, celui d'une éléphante offerte à Louis XIV en 1668.
Château de Versailles, place d'Armes, jusqu'au 13 février 2022.
Rens. : 01.30.83.78.00.

Paris (75) / Exposition

Tadjikistan, au pays des fleuves d'or

« *Au cœur de l'Asie centrale, le Tadjikistan est le pays de l'entremêlement* », explique Valérie Zaleski, commissaire de cette exposition du musée Guimet. Bordé au nord et au sud par deux fleuves aurifères, l'Amou-Daria (l'antique Oxus) et le Zeravchan (« le dispensateur d'or »), cette ancienne république soviétique aura vu se côtoyer des cultures identiques à celles de l'Afghanistan et l'Ouzbékistan voisins. C'est un creuset d'influences que les organisateurs ont voulu rendre intelligible. De grandes cartes murales et des chronologies servent de fil conducteur. Les sites archéologiques (celui de Sarazm est classé au patrimoine mondial de l'Unesco) constituent l'intérêt majeur de l'exposition et certains objets sont présentés en dehors du Tadjikistan pour la première fois. Trésors de Bactriane ou de Sogdiane, art gréco-bactrien, pièces en métal précieux issues du site hellénistique de Takht-i-Sangin et de son temple bâti en terre crue… Une belle manière d'honorer un pays qui fête ses 30 ans cette année. ■ **Bernadette Arnaud**

MUSÉE NATIONAL DES ANTIQUITÉS DU TADJIKISTAN / PHOTOTOLLIVIER POUR LE MNAAG

Boucle en or avec scène de chasse au sanglier (IIe-Ier siècle avant J.-C.), provenant de Saksanokhur, au Tadjikistan.

Musée national des arts asiatiques-Guimet, 6, place d'Iéna, jusqu'au 10 janvier 2022. Rens. : 01.56.52.54.33.

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

LE CIEL DE DÉCEMBRE

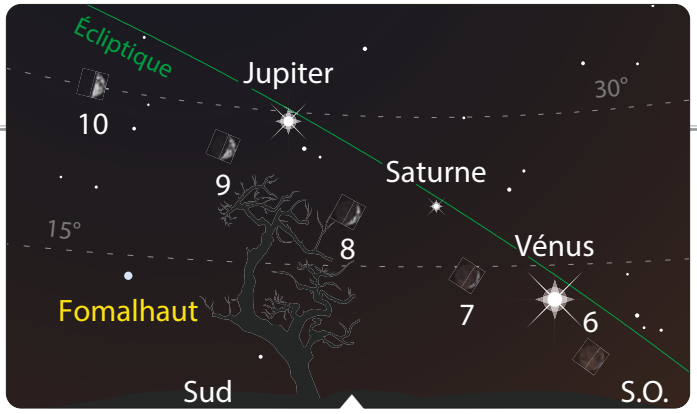
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète est observable en toute fin de mois en soirée, très bas vers le couchant et non loin de l'étincelante Vénus.

VÉNUS L'étoile du Berger est visible en soirée vers le couchant. Très brillante, elle plonge en direction du Soleil avec lequel elle sera en conjonction le 9 janvier. Vénus se couche 2 h 45 après le Soleil le 1er mais seulement 1 h 15 après lui 30 jours plus tard.

MARS La planète Rouge est encore très discrète : peu brillante, elle émerge à peine des lueurs de l'aube. Elle ne se lève que 2 h avant le Soleil en fin de mois. Dans la Balance jusqu'au 15, Mars traverse ensuite le Scorpion et rejoint Ophiuchus le 24.



La scène couvre la période du 6 au 10 et nous sommes 1 heure après le coucher du Soleil.

Découvrez le plan du Système solaire

CE MOIS, EN SOIRÉE, la Lune, Vénus, Saturne et Jupiter matérialisent le plan dans lequel les planètes tournent autour du Soleil : le plan de l'écliptique. C'est toujours près de l'écliptique, la projection de ce plan sur la sphère céleste, qu'il convient de chercher les planètes.

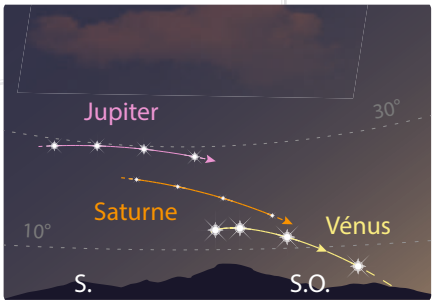
Notre conseil Votre horizon sud-ouest doit être dégagé pour repérer Vénus et la Lune en fin croissant. Vous pouvez suivre cette dernière jusqu'à sa plénitude le 19 et ainsi prolonger votre découverte de l'écliptique puisque notre satellite s'en éloigne tout au plus de 5°.

JUPITER La planète géante est observable en soirée et début de nuit. Très lumineuse, elle domine l'horizon sud-ouest d'une bonne vingtaine de degrés lorsque l'obscurité devient complète. Jupiter quitte la constellation du Capricorne pour celle du Verseau le 14.

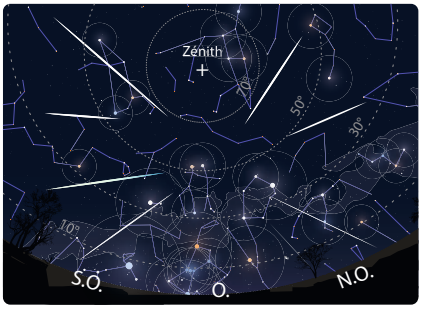
SATURNE Peu brillante, la planète aux anneaux se situe à mi-chemin entre ces deux phares que sont Vénus et Jupiter. Voilà qui aide grandement à son repérage le soir !

L'appli du mois

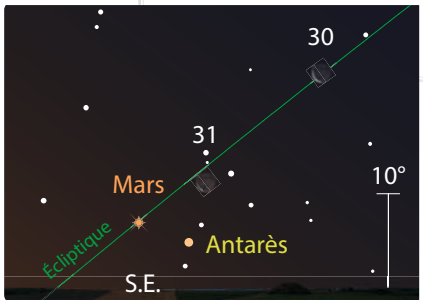
HEAVENS-ABOVE est une application gratuite en français pour Android (version sans publicité à 3,99 €). Elle offre une carte du ciel en direct, les prévisions des instants de passage de satellites artificiels dans votre ciel (constellation Starlink, Station spatiale internationale...) ainsi qu'un calendrier des événements à venir.



EN SOIRÉE, OBSERVEZ JOUR APRÈS JOUR la lente descente des planètes Jupiter, Saturne et Vénus vers le couchant. Leur position est indiquée les 1er, 11, 21 et 31 décembre.



LE MATIN DU 14, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, l'essaim d'étoiles filantes des Géminides devrait vous offrir le spectacle d'une centaine de météores par heure si vous disposez d'un ciel sombre.



LE MATIN DU 31, LA LUNE EN FIN CROISSANT, la planète Mars et l'étoile rougeâtre Antarès formeront un spectaculaire triangle, qui se présentera bas sur l'horizon.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de décembre

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec, groupe 1.

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 3.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CHRISTOPHE CASSOU ET CÉLINE GUIVARCH

Nobel de physique : les sciences du climat à l'honneur

Dans les termes les plus forts qui soient depuis sa création, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) montre dans son 6e rapport que les changements du système climatique sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité [*lire* S. et A. *n° 897*]. De manière sans équivoque, et les mots sont pesés, l'activité humaine en est la cause et l'évolution observée des températures suit parfaitement celle anticipée à partir des premières projections climatiques produites dans les années 1970-1980. Le comité Nobel est connu pour sa grande prudence ; il attend que les avancées théoriques ou conceptuelles se confirment pour éventuellement attribuer leur prix aux pionniers du domaine concerné. L'année 2021 voit ainsi récompensés deux climatologues, Klaus Hasselmann et Syukuro Manabe. Tous deux ont jeté les bases des études dites de détection-attribution, qui permettent aujourd'hui de quantifier l'influence humaine sur le climat de manière indiscutable, et les bases des modèles numériques de climat qui offrent la possibilité de prévoir, avec confiance, les changements climatiques en lien avec les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. Ce prix Nobel de physique vient encore une fois renforcer la crédibilité des messages alarmants que la communauté des scientifiques du climat envoie, si nos actions ne sont pas à la hauteur pour limiter le réchauffement. La portée de ce prix Nobel est forte alors que la fenêtre temporelle pour agir devient de plus en plus courte. ■

Directrice de recherche au CNRS, Institut de recherche en informatique fondamentale (CNRS/ université de Paris)

CLAIRE MATHIEU

MATHÉMATIQUES PAR CLAIRE MATHIEU

Minimiser le regret ressenti

En théorie de la décision, un objectif populaire lorsqu'on conçoit un algorithme est la minimisation du regret ressenti lorsqu'on se rend compte qu'on n'a pas pris la meilleure décision. Prenons l'enregistrement à l'aéroport : deux files d'attente se présentent, l'une avec des serpentins courts, l'autre avec des serpentins bien plus longs. S'imaginant que la file courte est réservée à la classe « affaires », on se met au bout de la file longue. Mais lorsque l'enregistrement ouvre, les deux files servent tout le monde. De plus, la disposition, avec une sortie centrale pour le serpentin court et au bout pour le serpentin long, est telle que la file courte monopolise deux des trois comptoirs. On ronge son frein en observant des gens arrivés après soi et qui, ayant choisi le petit serpentin, sont servis avant. Périodiquement, on envisage de changer de file, mais à chaque fois on se dit qu'on a déjà trop investi de temps pour que ça vaille la peine de changer. Frustration intense, sans commune mesure avec le préjudice subi, puisque tous les passagers se retrouveront ensuite dans le même avion ! En l'absence du serpentin court, on prendrait simplement son mal en patience, mais c'est la présence de l'autre file qui ravive constamment le regret de n'avoir pas fait le bon choix. Ainsi la comparaison avec des possibilités proches et la minimisation du regret sont des facteurs à prendre en compte dans la conception d'algorithmes. Et pour que le voyageur ait une expérience positive à l'aéroport, il ne suffit pas de prévoir assez de personnel pour avoir un flux suffisant à l'enregistrement : il faut aussi que ce service soit assuré de façon à éviter les regrets ! ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Morale et politique des normes

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

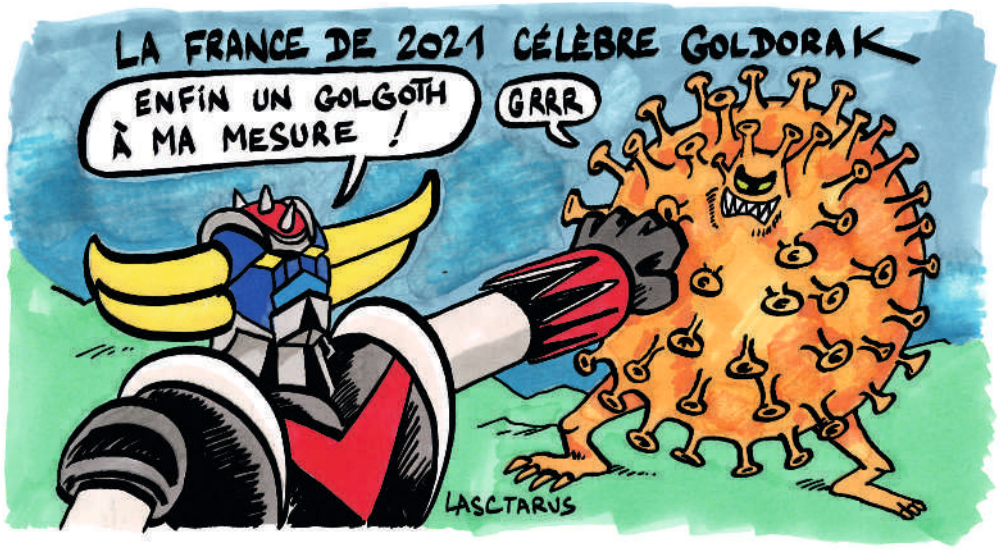
BRUNO LÉVY

Un rapport de la Fondation pour la recherche stratégique paru en septembre dernier* indique que la Chine souhaite désormais respecter les normes internationales et devenir un acteur majeur dans leur élaboration, de façon, pour reprendre les mots de Xi Jinping, le secrétaire général du parti communiste, à y inscrire la « sagesse chinoise ».

Comment ne pas se réjouir d'apprendre que l'empire du Milieu va se soumettre à la législation internationale et y contribuer activement ? Toutefois, au-delà de cette satisfaction première, on ne peut s'empêcher de suspecter dans cet investissement des instances de normalisation des fins plus politiques qu'éthiques. Première puissance manufacturière de la planète, la Chine ne produisait que 0,7 % des normes en 2010 et 1,8 % en 2020, loin derrière les pays membres du G7 à l'origine de 90 à 95 % des normes. Or, dans le monde actuel, les normes techniques garantissent l'interopérabilité des technologies. On conçoit donc que la Chine souhaite contribuer activement à leur élaboration afin d'aider les grands acteurs technologiques chinois comme Huawei à préserver, voire à accroître leur prééminence sur les nouveaux marchés planétaires tels ceux de la 5G.

Or, les normes et, plus généralement, la régulation ne répondent pas toujours à des injonctions morales ! Le philosophe Paul Ricœur distingue l'éthique antérieure, qui désigne l'amont du royaume des normes, de l'éthique postérieure concernée par leurs applications dans différents domaines, ce qui conduit, toujours selon Paul Ricœur, à mettre le mot éthique au pluriel. Or, seule l'éthique antérieure garantit la visée authentiquement morale des normes. Et c'est bien celle-ci qui semble manquer dans la façon dont la Chine et les autres États investissent les organismes de normalisation et de régulation, quels qu'ils soient. ■

* www.frstrategie.org/n°14/septembre 2021



L'ŒIL DE LASCAR

Ami des enfants et terreur des parents, Goldorak est de retour en France. D'abord pour une exposition à Paris qui n'a pas désempli (à la Maison de la culture du Japon), ensuite dans les bureaux de poste, deux timbres ayant été lancés à son effigie. Quarante-six ans après la naissance du robot géant, la perspective des robots militarisés n'est plus un sujet de science-fiction *(voir* S. et A. *n° 897).* En revanche, la face cachée de la Lune, repère des méchants Golgoth, a été visitée par une sonde chinoise : d'évidence, Minos et le Grand Stratéguerre n'y sont pas. **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

PHYSIOLOGIE

Pourquoi le nez coule quand on a un rhume ?

Maya T.

Le rhume (ou rhinite) est une affection respiratoire bénigne très courante l'hiver. L'un des symptômes les plus connus est le nez qui coule. Pour comprendre ce phénomène, il faut savoir que les fosses nasales et les sinus sont revêtus d'une muqueuse. Celle-ci sécrète un liquide en continu, ce qui permet d'humidifier l'air inspiré et piéger les poussières extérieures. Ce liquide forme aussi une barrière naturelle contre les agents infectieux. Mais quand la muqueuse est irritée à cause d'un virus, elle se gonfle. Sa sécrétion augmente alors et le nez coule : c'est le rhume. D'abord limpide, le liquide devient ensuite plus épais, ce qui conduit le nez à se boucher. ■ **A.-S. T.**

ENVIRONNEMENT

Peut-on jeter une peau de banane dans la nature ?

Mallaury S.

Bien que les fruits et légumes ne soient pas des aliments transformés, les jeter dans l'environnement n'est pas anodin, comme l'expliquaient en 2019 des gardes du parc national de Glacier (États-Unis) : *« Ces aliments naturels ne se décomposeront pas rapidement. Si les animaux ne mangent pas ces déchets, leur décomposition demandera jusqu'à plusieurs années. »* Deux ans dans ce parc pour une peau de banane et huit semaines pour un trognon de pomme. En outre, le « naturel » dépend de la géographie : une peau de banane de Martinique n'est pas à sa place dans une forêt de métropole. Et la faune sauvage peut mal la digérer. ■ **A.-S. T.**

CHRISTOPHE LEHENAFF / PHOTONONSTOP

Suspendu à un filin de 67 m au dôme du Panthéon à Paris, le pendule de Foucault a fait l'objet d'une première démonstration publique en 1851.

PHYSIQUE

En quoi consiste l'expérience du pendule de Foucault ?

Abdoul B.

Imaginée au XIXe siècle par le physicien français Léon Foucault (1819-1868), il s'agit d'une expérience aussi simple qu'ingénieuse pour prouver la rotation de la Terre. À cette époque, la théorie de l'héliocentrisme exposée par l'astronome polonais Nicolas Copernic au XVIe siècle s'est répandue, mais la preuve expérimentale de la rotation de la Terre sur elle-même manque encore. C'est alors que Léon Foucault conçoit un pendule fait d'une boule de laiton de 28 kg et 20 cm de diamètre, accrochée à un filin de 67 m. Si on lâche la masse terminale sans lui impulser de vitesse initiale, alors celle-ci oscille dans un plan fixe. Pour visualiser ce mouvement au sol, Foucault ajoute une petite pièce métallique sous la boule. Elle vient « gratter » un lit de sable, marquant son passage d'une trace. Puisque l'axe d'oscillation du pendule ne change pas, l'observateur devrait alors ne voir qu'une seule trace sur le sable. Pourtant, après quelques minutes, on peut voir les traces se décaler peu à peu dans le sens des aiguilles d'une montre. Conclusion : le sable a tourné sous le pendule, preuve que la Terre tourne sur elle-même. La vitesse apparente de rotation du plan du pendule dépend de la latitude. Au niveau des Pôles, le mouvement du pendule décrit un cercle complet en 24 heures du point de vue de l'observateur. Au niveau de l'équateur, il ne tournerait pas du tout. Le physicien fit une première démonstration de son pendule en 1851 à l'observatoire de Paris et un mois plus tard au Panthéon, à la demande de Louis Napoléon Bonaparte. À cette latitude, il met 32 heures pour faire un tour. ■

Anne-Sophie Tassart @ TassartAS

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 897, novembre 2021

Matoku 8x8 ++

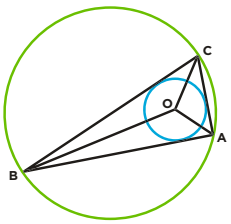
6M 3	8	5	12+ 2	S 1	3- 7	4	10+ 6
1- 5	4	8	7	2	21+ 6	3	1
4M 7	1	6/ 6	3	4	5	2	8
6	2	1	19+ 5	3	19+ 8	7	4
140X 1	7	2	8	5	72X 4	6	3
4	5	3	1	6	2 2	21+ 8	7
48X 2	17+ 6	7	25+ 4	8	30X 3	1	5
8	3	4	6	7	1	5	2

Dumas et des lettres

Un titre utilise exclusivement les lettres d'un autre : *La Dame de Monsoreau* » peut être écrit avec les lettres du *Chevalier de Maison-Rouge* :

A	C	D	E	G	H	I	L	M	N	O	R	S	U	V
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+		+	+				+	+	+	+	+	+	+	

Cercles et rayons



Le centre du cercle circonscrit à un triangle rectangle est au milieu de l'hypoténuse
$BC^2 = 5^2 + 12^2 = 169$
$BC = 13$
Le rayon du cercle circonscrit est donc de 13/2 = 6,5. Soit O, le centre du cercle inscrit et r son rayon. Traçons les trois triangles BOA, AOC, et BOC. Leurs surfaces respectives sont $12r/2$, $5r/2$ et $13r/2$.
La surface du triangle ABC est de $(12 \times 5)/2 = 30$.
On a l'équation $12r/2 + 5r/2 + 13r/2 = 30$. $30r/2 = 30$, $r = 2$

Des cinq et des quatre

Deux 5 et deux 4 suffisent : **$4^5 - 5^4 = 1024 - 625 = 399$**

Au salon du Vistemboir

Une solution consiste à présenter en premier le morfeur (5). Celui qui va le faire n'est ni Alain qui n'est pas prêt (2), ni Damien (4). Restent Côme et Basile. Ce n'est pas Côme puisque son produit n'est pas le morfeur (1). C'est donc Basile. Ensuite celui qui doit présenter le perval n'est ni Basile *(voir ci-dessus)* ni Côme (1). C'est donc Alain ou Damien. Et celui qui doit présenter le varphon n'est ni Damien (6) ni Basile. C'est donc Alain ou Côme. Comme il ne doit y avoir qu'une seule solution et qu'Alain pourrait présenter le perval ou le varphon, on déduit que c'est Damien qui présente le perval et Côme le varphon. Reste Alain qui présentera le grustère.

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 889
La solution hydrogène

N° 890
Microbiotes

N° 891
Découvrir les confins de l'Univers

N° 892
Vaccins contre le cancer

N° 893/894
100 trésors scientifiques

N° 895
Explorer l'espace

N° 896
Les super pouvoirs du cerveau

N° 897
Tempêtes, chaleur extrême, inondations

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 889 ❑ N° 890 ❑ N° 891 ❑ N° 892
❑ N° 893/894 ❑ N° 895 ❑ N° 896 ❑ N° 897

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

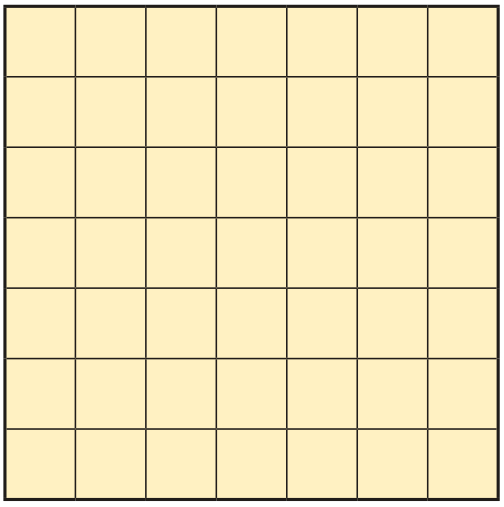
Chiffres en compétition

Chaque chiffre, de 1 à 9, tente d'obtenir 100 à l'aide des 4 opérations (+ - x /) en ne s'utilisant que lui-même.

Par exemple 2 peut faire
((22 – 2)/2) x ((22 – 2)/2) = 100
en s'utilisant 8 fois.
Quel chiffre atteind 100 en s'utilisant lui-même moins de fois que les autres ?

Un carré inscrit

Dans ce carré de 7 sur 7, saurez-vous inscrire un carré dont le côté est un nombre entier d'unités ?



azote baveux caque duo fréjusien okoumé plouc whig

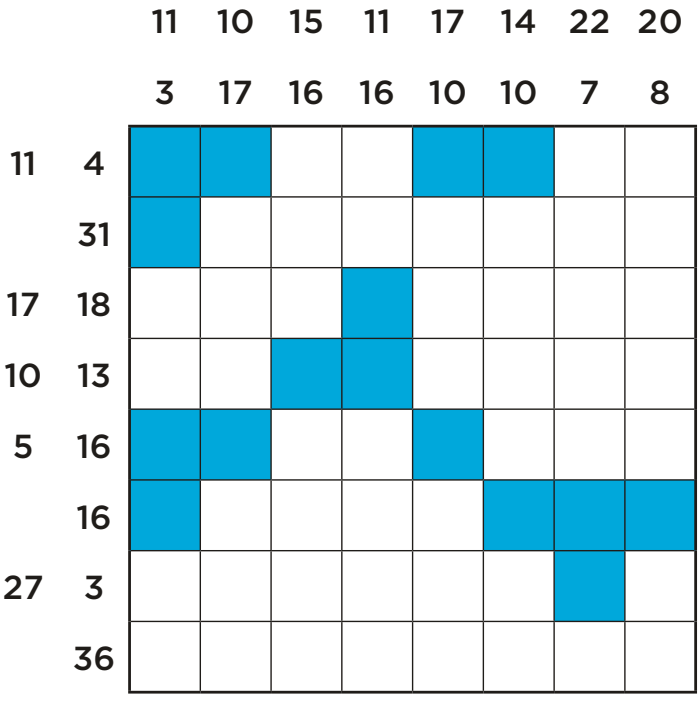
Outre qu'elle est alphabétique, cette suite de mots présente une particularité remarquable. Quelle est-elle ?

Il faut avouer que les inventeurs des arts mécaniques ont été bien plus utiles aux hommes que les inventeurs de syllogismes

Saurez-vous imaginer une logique justifiant que certaines lettres de cette phrase de Voltaire soient colorées en rouge ?

Complet latin

Complétez ce carré où chaque ligne et chaque colonne est composée de nombres de 1 à 8. Les sommes des segments horizontaux et verticaux figurent en marges.



Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

EUROPE MATIN 6H30-9H
DIMITRI PAVLENKO
Écouter
L'INTERNATIONAL,
LA SOCIÉTÉ, LA CULTURE,
L'ÉCONOMIE, LA POLITIQUE,
LES ENJEUX D'AUJOURD'HUI
ET DE DEMAIN.
LE POUVOIR DE L'ÉCOUTE
Europe 1
FLASHEZ POUR ÉCOUTER
EN PODCAST
CapaPictures / Europe 1

L'OR

Découvrez

L'ALLIANCE PARFAITE
D'ARÔMES INCOMPARABLES

L'OR SANS DOUTE LE MEILLEUR CAFÉ DU MONDE

JACOBS DOUWE EGBERTS FR SAS - 30 BIS RUE DE PARADIS, 75010 PARIS, FRANCE - 810 029 413 RCS PARIS - SAS AU CAPITAL DE 16.594.157,70 EUROS.